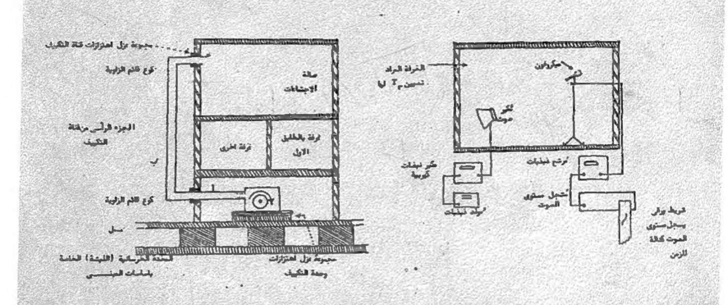
مقدمة

لاساسيات علم

صوتيات المبانى والتحكم فى الضوضاء

مع أمثلة محلولة



تأليف

د كتور عبد الرحمن فكرى

أستاذ الفيزياء النووية والطاقة العالية

كلية الهندسة - جامعة عين شمس

١٩٩٥

اهداءات ١٩٩٨
مؤسسة الأهرام للنشر والتوزيع
القاهرة

مقدمة

لأساسيات علم
صوتيات المبانى والتحكم فى الضوضاء
مع أمثلة محلولة

تأليف

د كتور عبد الرحمن فكرى
أستاذ الفيزياء النووية والطاقة العالية
كلية الهندسة - جامعة عين شمس

١٩٩٥

دار الحكيم للطباعة

مقدمــــة

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين

واستغفره سبحانه وتعالى واتوب اليه

نواه الكتاب الحالى كانت مجموعة المحاضرات التى استمتعت بالقائها على طلبـــة وطالبات شعب " ميكانيكا ــ مدنى ــ كهرباء " واحيانا شعبة " عمارة " بكليـــة الهندسة جامعة عين شمس منذ أوائل الستينيات ٠

والكتاب مقسم الى سبعة ابواب : الاوّل منها قصد به عرض لبعض المفاهيـــم العلمية المرتبطة بالاهتزازات وانبعاث الطاقة الصوتية ٠ والباب الثانى يستكمل عـــرض المفاهيم الخاصة بشدة الصوت ومستوياته ٠ والباب يناقش سُبـــل التعامل مع الضوضاء التى تقابل المرء خارج المبانى وفى الطريق العام ٠ اما البـــاب الخامس فيناقش اساسا اهم صفة تميز اى غرفـة من ناحية صلاحيتها " صوتيا " وهـى مايعرف بزمن الارتداد ٠

وفى الباب السادس يتم عرض موجز للطرق التى تتبع لمواجهة الضوضاء الصـــادرة من مجموعات التكييف داخل المبانى ٠

وينتهى الكتاب بمجموعة مشاهدات تجريبية توضح ــ الى حد ما ــ بعض الآثـــار الجانبية التى تنتج من التعرض لمستويات ضوضاء متباينة ٠

وفيما عدا الباب السابع هذا فان الكتاب يحتوى على مجموعة امثلة محلولة متنوعة قُصد بها تعميق المفهوم العلمى والتطبيقى لبعض النقاط التى تم مناقشتها ٠

ولقد استفــدت كثيرا من المراجع القيمة الزاخرة بها مكتبة كلية الهندسة جامعـــة عين شمس وخصوصا المجموعة المشار الى بعضها فى القائمة التى وردت ضمن الكتاب ٠

والله سبحانه وتعالى أسأل ان يجعل من هذا الكتاب الفائدة العلمية والتطبيقية المرجوّة ٠

عبد الرحمن فكرى

١٢ ربيــع اول سنة ١٤١٥ هـ

٢٠ اغسطـــس سنة ١٩٩٤ م

فهـــــرس

رقم الصفحة

رقم الصفحة

رقم الصفحة

رقم الصفحة

رقم الصفحة

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الأوّل

موجز لبعض اساسيات علم صوتيات المباني وصوتيات البيئة المحيطة بها

علم صوتيات المباني والبيئة المحيطة بها يمكن اعتباره احد فروع علم الصوت، والذى تطور حديثا بصورة كبيرة،نتيجة للتغيرات التى حدثت فى اسلوب المعيشة والحياة اليومية،خصوصا فى المدن الكبيرة،وما صاحب ذلك من تطور لطرق النقل والمواصلات التى تربط بينها ٠ وكذلك الطفرة العظيمة فى التقدم التكنولوجى الذى نعيشه ٠ فقد واكب ذلك التقدم تواجد العديد من مصادر الازعاج الصوتى الواجب التّصدي له كجزء من البرنامج العام للتصدى لملوثات البيئة ٠ ويعطى الجدول التالى قائمة تلخص العديد من مصادر الضوضاء الرئيسية التى تؤثر على " منسوب " الهدوء فى البيئة ٠

جدول (١ ـ ١)

مسلسل	اوجه النشاط فى البيئة	امثلة لمصادر الازعاج
١	النقل والمواصلات	الطائرات ـ القطارات ـ عربات الشحن ـ الأوتوبيسات ـ السيارات الخاصة ـ الموتوسيكلات.
٢	أنشطة البناء والتعمير	الونشات ـ البولدوزورات ـ آلات شق الطرق والأنفاق ـ خلاطات الخرسانة ـ آلات النشر ـ آلات الهدم ـ عربات النقل الخاصة بهذه الانشطة ـ مجموعات التكييف من تبريد وتدفئة وتهوية داخل وخارج المبانى والطرق .
٣	آلات الكهرباء	المراوح ـ آلات ضغط الهواء ـ الموتورات ـ آلات الضخ ـ المحولات الكهربائية ـ التليفزيون والراديو.
٤	الصناعة	الورش والمصانع ـ عدد المناجم ـ الأبراج الخاصة بأعمال التهوية ـ تصريف العوادم .
٥	أنشطة رياضية وادوات تسلية	عربات السباق ـ آلات الصيد ـ آلات الموسيقى وآلات التكبير الاذاعى .

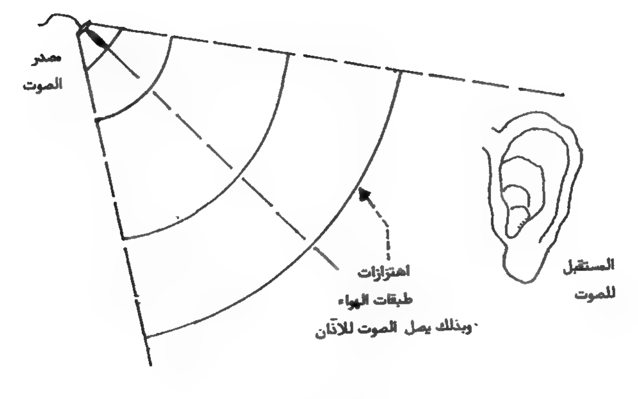
وباعتبار أن الضوضاء (Noise) هى أى صوت غير مرغوب فيه،فإن جميـــع مصادرها،المنّوه عن بعضها فى الجدول (١ــ١).تتميز بخاصية مشتركة مع أى مصـــدر صوت وهى أن أى منها عبارة عن جسم يتصف بنوع أو اكثر من الحركات الاهتزازيـــــة (Vibrations or Vibratory motion) مثل حركة اوراق الشجـــر وسط الرياح او حركة امواج البحر ... الخ • وشكل (١ــ١) يلخص هذه الحقيقة •

بعض الخصائص الفيزيائية للاهتزازات المُرتبطة بانتشار الصوت :

نعلم ان جزيئات المادة ــ صلبة ــ سائلة ــ غازية ــ تتحرك طبيعيا حـــــول مراكز مَوضعية نتيجة للاحتواء الحرارى الطبيعى للمادة • وعندما تتعرض المــــــادة لحركة اهتزازية دخيلة فان كل منها يكتسب ازاحة،تزداد وتنقص قيمتها نتيجة لموضعـــــه فى التركيب البنائى للمادة • وهذا يؤدى الى ظهور قوى مرونة داخلية تحاول إرجـــاع كل منها الى حالته الطبيعية • وأبسط صورة لقـوة المرونة F فى مثل هـــــذه الحالة هى ما يُمثل بالتعبير الرياضى الذى يوضح انها تتناسب طرديا مع الازاحـــــة y التى يعانيها الجزىء :

$$F = -k.y \qquad \text{(نيوتن)} \qquad (1-1)$$

حيث معامل المتانة k للمادة هو ثابت التناسب وقد أُضيفت الاشارة السالبـــــة



شكل (١ـ١)

جزء من الطاقة الصوتية الصادرة من المنبع يُستنفذ فى تحريك طبقات الهواء (جزيئاته) حركة اهتزازية وبالتالى تنتقل الحركة الاهتزازية لغشاء طبلة الأذن وهى أول مرحلة لاثارة حاسة السمع .

لتوضح أن F دائما تتجه بعيدا عن مركز الوضع الطبيعي للجزىء (من الامثلة الشائعة حولنا والتي تتأثر تقريبا بمثل هذا النموذج من القوى حركة " يايات" سيارات الركوب وما شابهها — وما يصاحب ذلك من انبعاث ضوضاء تشارك في الضوضاء الكلية التي تَصْدر من هذه الاجسام اثناء تحركها على الطريق العام حولنا) .

وبما أن القوة تساوى حاصل ضرب كتلة الجسيم m المتحرك تحت تأثير هذه القوة في عجلة الحركة الناتجة (d^2y/dt^2) إذاً :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{F}{m} = -\frac{k}{m}\cdot y = -\omega^2\cdot y \qquad (1-2)$$

حيث نلاحظ ان الثابت أوميجا ω وحدته عبارة عن :

$$\text{وحدات } \omega = \left(\frac{\text{وحدات } k}{\text{وحدات } m}\right)^{1/2} = \left(\frac{\text{نيوتن . متر}^{-1}}{\text{كجم}}\right)^{1/2} = \frac{1}{\text{ثانية}}$$

وهي نفس وحدات السرعة الزاوية ولذلك فان ω هنا تُمثل السرعة الزاوية المرتبطة بالحركة الاهتزازية (التوافقية البسيطة) التي يتحركها الجسيم تحت تأثير القوة F (مثال بسيط آخر هو حركة أحد اوتار آلة " العود" أو آلة " البيانو " تحت تأثير " ضرب " الأصبع) .

ونتيجة تزاوج مثل هذه الحركات الاهتزازية مع خصائص المرونة للمواد فان هذه الحركات الاهتزازية تنتقل من منطقة بالمادة الى ما يلاصقها من مناطق اخرى

وبذلك تنتقل الطاقة عَبْرها على هيئة موجات " طولية " وهى ما تعنيه الطاقـــة الصوتية أو ببساطة " الصوت ". أو " الضوضاء " اذا كان صوتا غير مرغوب فيه .

وبعض ما تتميز به الموجات الصوتية مايلى :

١ — لها تردد f مداه بالنسبة للأذن البشرية العادية يبدأ عند ١٦ ذبذبــة فى الثانية (أى " هيرتز ") وينتهى عند ٢٠ ألف هيرتز . أما الموجــات خارج هذا المدى فلا تستطيع الأذن البشرية فى المعتاد ان تُميزها كاحســاس سمعى (Hearing Sensation) . وتُعرف الموجات ذات f أقل من ١٦ هيرتز بالموجات " تحت السمعية Infrasonic " أما اذا كـان ترددها اكبر من ٢٠ كيلو هيرتز فتُعرف بالموجات " فوق الصوتيــة Ultrasonic " وهى الشائع استخدامها فى مجالات الفحوص الطبية .

٢ — تنتشر هذه الموجات خلال الوسط الناقل لطاقتها (هواء — أبنية — سوائــل .... الخ) فى نفْس اتجاه الحركة الذبذبية لجزيئات ذلك الوسط وهذا هو السبــب فى تَسميتها موجات طولية (Longitudinal Waves) ويُمكن التعبير عنهــا رياضيا على النحو التالى :

$$y = A \sin \left[2 \pi \left(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda}\right)\right] = A \sin \phi \qquad (1-3)$$

أو :

$$y = A \cos [2\pi (\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda})] = A \cos \emptyset$$

حيث :

y = ازاحة أيٍّ من جزيئات الوسط ، وأقصى قيمة لها A هـــــــى " السعة Amplitude "

x = احداثى الموضع لهذا الجزىء ،

t = احداثى الزمن ،

T = $\frac{1}{f}$ = الزمن الدورى للحركة الذبذبية لجزىء الوسط والتــــردد f يقابل تردد الموجات الصوتية المصاحبة لتلك الاهتزازات ،

λ = الطول الموجى لموجات الصوت ويُعنى به المسافة " $\lambda = x$ " بين جزيئين متتاليين على خط انتشار الطاقة الصوتية يتميزان بأن لهمـــا نفس " الطور " الذى تعبر عنه " زاوية الطور $\emptyset$ " ، وكخاصيـــــة عامة لأىّ حركة موجية فان $v = \lambda . f = \lambda / T$

حيث v هنا سرعة الصوت فى الوسط الذى نتحدث عنه ،

وكما هو معروف فانه أثناء مرور الطاقة الصوتية بين المصدر والمستقبل فانه لايحـــدث حركة انتقالية لجزيئات الوسط ولكن كل ما هُنالِك الحركة الذبذبية الصغيرة جدا لهـــا (أحد الامثلة المحلولة فيما بعد يوضح لنا أن تلك الازاحة قد تصل فى صِغَرهـــــا لدرجة انها تكون مساوية لقطر اصغر ذرة فى الوجود وهى ذرة الايدروجيـــــــن

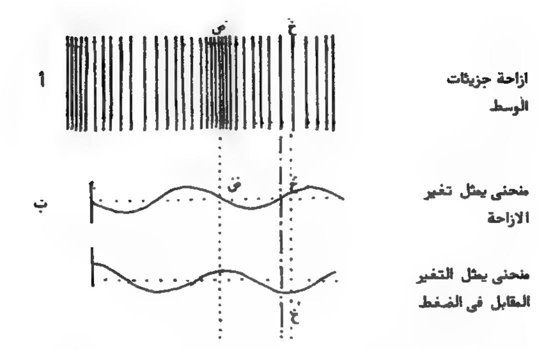
اى حوالى " ٠٫٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ = ١٠$^{-١١}$ من المتر — ومع ذلك بفضل اللــــه سبحانه وتعالى يُمْكن للأذُن ان تستجيب لها وتخبر بأن هناك " همسا خافتـــا ") وهذه الحركة فى اتجاهين متعاكسين على خط طول انتشار الطاقة الصوتية نفسهـــا ٠ وفى شكل (١ـ٢) تُوضّح هذه الحركات الاهتزازية بمنحنيات بيانية تمثل الازاحـــة وتغيرات الضغط المقابلة ٠

ويلاحظ ان هذه المنحنيات — واساسها معادلة (1-3) — تُمثـــل انتقال الطاقة الصوتية من نقطة الى اخرى فى الحيز على امتداد خط هندسى واحـــد ولهذا يوجد مستويات عمودية عليه كل منها يمثل مواضع الحيز التى تشترك فى قيمــة معينة لزاوية الطور $\emptyset$ وتمثل " صَدْر الموجه الصوتية المستويــــة (Plane Wave Front of Sound) وهى تعبر عن الوضـــع الفيزيائى فى حالة منبع صوت بعيد نسبيا عن الاجسام التى تعترض طريق الطاقـــة الصوتية.أما اذا كانت هذه المسافة ليست بالبعد الكافى لافتراض ذلك،فان الطاقـــة الصوتية فى هذه الحالة تنتشر بتماثل كرى حول المنبع وفى هذه الحالة تُستبـــدل معادلة (1-3) بالعلاقة التالية :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{r}{\lambda} - \frac{t}{T}\right) = A \sin \emptyset_r \qquad (1-4)$$

حيث المتجه $\vec{r}$ كالمعتاد عبارة عن

$$(\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z)$$

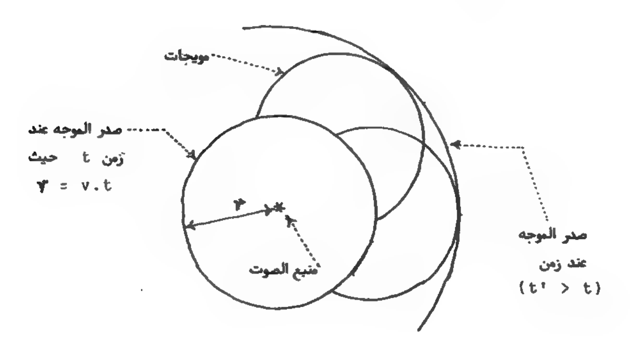


المنحنى ب يمثل تغير الازاحة y مع احداثي الموضع عند لحظة معينة أو تغير الازاحة y مع احداثي الزمن عند نقطة معينة في الحيز الذي ينتشر فيه الصوت ويُصاحبه إزاحة جزيئات الوسط الموضحة في الشكل أ وفيه نقط التضاغط تقابل تلاقي المنحنى ب مع المحور باتجاه " من اعلاه الى اسفله " بينما نقط التخلخل خ تقابل تلاقي المنحنى ب مع المحور باتجاه " من اسفله الى اعلاه " .

شكل (١ـ٢)

التمثيل البياني لما يصاحب الحركات الاهتزازية المقترنة بانتشار الصوت من ازاحة لجزيئات الوسط وتغيرات تقابلها في الضغط .

وصدر الموجه عبارة عن سطح كرى مركزه يوجد به منبع الصوت ويزداد نصف قطـــر صدر الموجه تباعا بتطبيق مبدأ هايجنز Huygen's Principle الموضح فـــى شكل (١ـ٣).وتبعا لهذا المبدأ فان موضع صدر الموجه عند أى لحظة عبارة عـــــن السطح المغلف لجميع المويجات التى تولدت من النقاط على صدر الموجه الموجودة قبـل تلك اللحظة ٠



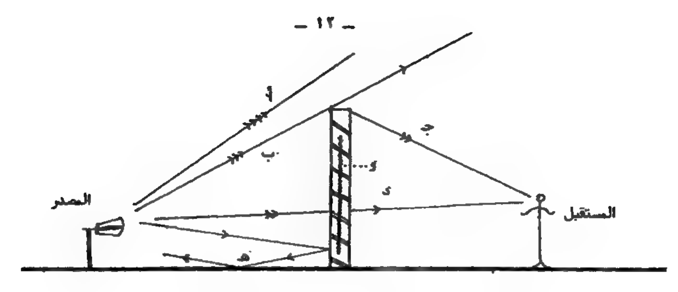
٠ شكل (٢ـ٣)

مبدأ هايجنز لانتشار الحركة الموجية

هذا الوضع الهندسي ـ بجانب تذكرنا لقانون بقاء الطاقة ـ يوضح لنا ان كميـــة الطاقة الصوتية الصادرة من المنبع الذى فى المركز ـ والتى تخترق فى الثانية الواحـــدة وحدة المساحات لسطح كرى محيط بمنبع الصوت يتناسب عكسيا مع مربع نصف قطـــــر هذا السطح ـ أى عكسيا مع مربع البعد r بين المنبع والمستقبل •

ماذا يحدث للطاقة الصوتية عند انتقالها من موضع المصدر الى موضع المستقبل :

أولا : خارج مبنى : (مثال مبسط ـ راجع الباب الرابع)



حاجز يفصل بين
المنبع والمستقبـل

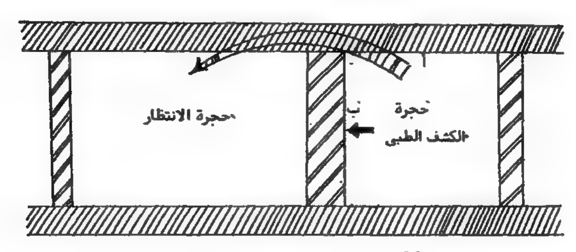
أ ، ب طاقة صوتية لايصل منها اى جزء للمستقبل
جـ .... طاقة صوتية تصل للمستقبل نتيجة حيود موجات الصوت عند حافة الحاجـز
(راجع مبدأ هايجنز فى شكل (١ـ٣)) ٠
د .... طاقة صوتية تصل للمستقبل بعد نفاذها خلال الحاجز
هـ .... طاقة صوتية حدث لها انعكاس عند سطح الحاجز المواجه للمصدر ٠ ولايصل منها اى جزء للمستقبل
و .... طاقة صوتية حدث لها امتصاص بواسطة جزئيات مادة الحاجز ٠ ولايصل منها أى جزء للمستقبل ٠

أى أن :
الطاقة الصوتية المنبعثة من مصدر الصوت = (أ + ب + حـ + د + هـ + و)
الطاقة الصوتية التى تصل للمستقبل نتيجة تواجد الحاجز = (حـ + د) فقط

شكل (١ـ٤)

تأثير وجود حاجز يفصل بين مصدر الصوت والمستقبل

ثانيا : داخل مبنى : (مثال مبسط ـ راجع الباب)



أ طاقة صوتية تَعْبر من غرفة الكشف الطبي الى حجرة الانتظار عن طريق السقف المشترك ·

ب طاقة صوتية تَعْبر من غرفة الكشف الطبي الى حجرة الانتظار عن طريق الجدار المشترك ·

مثال يوضح أهمية مايراعيه المهندس المعماري في مبنى المستشفى بحيث يضمن سرية الحديث بين المريض وطبيبه وكذلك عدم وصول اى شوشرة الى غرفة الكشف الطبي

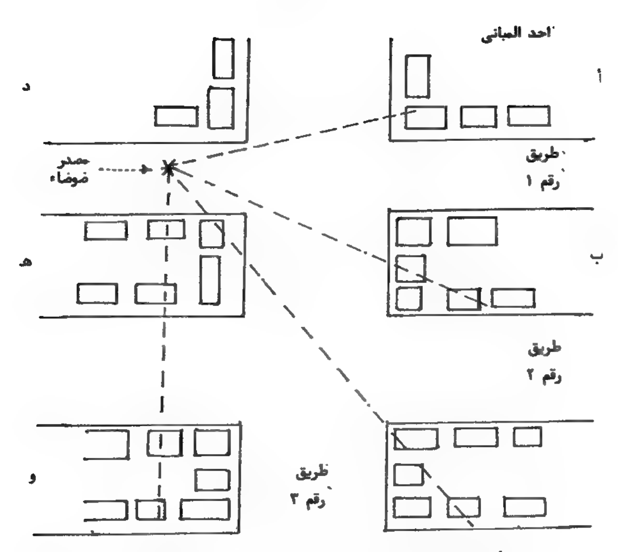
شكل (١ـ٥)

ثالثا : من خارج المبنى الى داخل المبنى :

فى المثالين السابقين كان الأول يختص بانتقال الطاقة الصوتية من مصـــــدر الصوت خارج المبنى الى مُتَلَقى خارج المبنى أيضا •

بينما المثال الثانى يختص بانتقال الطاقة الصوتية من مصدر الصوت داخل المبنـى الى مُتَلَقى داخل المبنى أيضا •

أما المثال التالى فيوضح انتقال الطاقة الصوتية من مصادر الضوضاء خارج المبانـــــى الى داخل المبانى :



يلاحظ أن الضوضاء الصادرة من المصدر بالطريق رقم ١ يصل الجزء الاكبر منها الى المباني المقامة على قطعة الارض (او المربع) هـ وكذلك د بينما الجزء الاصغر من ضوضاء هـــذا المصدر يصل الى المباني المقامة على قطعة الارض حـ وذلك لسببين : المسافة والمبانـــي التى تعترض تلك الطاقة الصوتية .

شكل (١ـ٦)

نلاحظ من الامثلة المبسطة الثلاثة السابقة والخاصة بانتشار الطاقة الصوتيـــة
من نقطة الى أخرى يجب أن نتحدث عن :

أ ـ الانتقال المباشر للطاقة الصوتية (Direct Propagation)

ب ـ امتصاص الطاقة الصوتية (Sound Absorption) بنسب تزيد او تقل تبعا لطبيعة المواد والفواصل التى تعترضها .

حـ ـ انعكاس الطاقة الصوتية (Sound Reflection) بنسب تزيد أو تقل تبعا لطبيعة سطح الفاصل المواجه لقدوم الطاقة الصوتية . وأيضا تبعـــا لنسبة أبعاد هذا الفاصل بالنسبة للطول الموجي للطاقة الصوتية مما يحـــدد ايضا نسبة الطاقة الصوتية القادمة التى يحدث لها عند حافة الفاصل حيود .

ولكى يصبح الحديث عن اى من تلك الظواهر محددا بقيم قياسيه علينـــا ان نتعرف أولا على الكميات الفيزيائية التالية المرتبطة ارتباطا وثيقا ببعضها وبالطاقـــة الصوتية :

ـ مستوى ضغط الصوت (Sound Pressure Level "SPL")
الذى يعتمد على :

ـ ضغط الصوت (Sound Pressure "P") الذى يعتمـــد على :

ـ شدة الصوت (Sound Intensity "I")

ولذلك ربما من المناسب ان ننتقل فى الباب الثاني للحديث في بدايته عـــن شدة الصوت •

مثال (١ـ١) :

سلك زنبركى طوله الاصلى ١٥ر٠ متر وعندما يتدلى منه كتلة مقدارها ٣ كجـــم يصبح طوله فى حالة اتزان تلك الكتلة ١٥٣ر٠ متر • احسب معامل المتانة لهـــذا الزنبرك •

الحـــل :

حيث ان الكتلة المعلقة فى طرف الزنبرك متزنة تحت تأثير قوتين متضادتيـــن فى الاتجاه :

(mg) ثقلها الى اسفل.وقوة الشد فى الزنبرك (ky) إذا

$$k = \frac{mg}{y} = \frac{(3\ kg).(9.81\ metre.sec^{-2})}{(3 \times 10^{-3}\ metre)} = 9810\ Newton/m. \quad (1-5)$$

ويستخدم مثل هذا الزنبرك فى التحكم فى حركة الاحمال الثقيلة •

مثـــال (١ـ٢) :

بالنسبة للمثال السابق لنفترض ان السلك الزنبركى بعد ان حدث له حالــــــة الاتزان والكتلة ٣ كجم متدلية منه ٠ لنفترض ان الاستطالة زيدت بمقدار ٥٠ فـــــى المائة بازاحة تلك الكتلة الى اسفل :(أ) إحسب الزمن الدورى للحركة التوافقيـــــة البسيطة التى تتحركها الكتلة المتدلية من السلك.(ب) كرر الحل إذا زيدت الاستطالة بمقدار ٣٠ فى المائة بدلا من ٥٠ فى المائة ٠ (حـ) كرر الحل اذا تعرض السلـــــك للانضغاط بدلا من الاستطالة فى الجزء (أ) من السؤال ٠

الحـــــل :

(أ) كما ورد فى معادلة (1-2) $\omega^2 = k/m$

$$\therefore \omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{k}{m} = 3270 \qquad (1-6)$$

$$\therefore T = 0.11 \quad sec$$

(ب) ، (حـ) نفس الاجابة لان الزمن الدورى لايعتمد على قيمة الزيادة او النقصان فى الاستطالة التى طرأت عن وضع اتزان الزنبرك ٠

مثـــال (١ـ٣) :

فى المثال السابق لنفرض ان الكتلة ٣ كجم تم تثبيت فرشه حبر بها بحيـــــث يلامس طرفها ورقة رسم ملفوفة على بكرة لها حركة دائرية منتظمة حول محورها بحيـــث ان ورقة الرسم تتحرك خطيا حركة منتظمة أثناء تلامسها مع سن فرشه الحبـــــــر .
ارسم المنحنى الناتج على ورقة الرسم على فرض ان سرعة الورقة $v' = $ ٠٠٥ر٠ متر / ثانية .

الحـــل :

الرسم الناتج عبارة عن المنحنى الجَيْبِى الذى سبق الاشارة اليه فى شكـــــــل (١ـ٢) مع ملاحظة ان المسافة x تساوى $v't$ حيث t الزمـــــن . وعلى فرض ان حركة الكتلة حركة توافقية بسيطة . أما اذا كانت مُركبة فالمنحنـــــــى الناتج يختلف الى اشكال متعددة ودراسته تستخدم كأساس لتحليل الحركات التوافقيـــة المركبة مثل تحليل الاصوات .

مثـــال (١ـ٤) :

احسب سرعة الصوت :

(أ) فى الهواء بفرض ان ضغطه٧٦ر٠ متر زئبق ، γ تساوى ٤ر١ وكثافتـــــه م ٢٩ر١ كجم /متر٣ .

(ب) في الماء علما بأن معامل مرونته ١,٩٦ x ١٠^٩ نيوتن / متر٢

(حـ) في الصلب علما بأن معامل مرونته (معامل يونج) ١٠^١٠ نيوتن/متر٢

الحــــل :

(أ) حيث ان في الهواء :

$$v = \text{سرعة الصوت} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \qquad (1\text{-}7)$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{1.4 \times 0.76 \times 9.81 \times 13.6 \times 10^3}{1.29}}$$

$$= 331.7 \quad \text{m/sec} \qquad (1\text{-}8)$$

(ب) سرعة الصوت في الماء :

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.96 \times 10^9}{10^3}} = 1400 \quad \text{m/sec.} \qquad (1\text{-}9)$$

(حـ) سرعة الصوت في مادة الصلب :

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{10^{10}}{8 \times 10^3}} = 35360 \quad \text{m/sec.} \qquad (1\text{-}10)$$

مثـــال (١ـ٥):

احد جزيئات مادة ما يتحرك حركة اهتزازية سرعتها الزاوية ω ، سعتها A والازاحة عند أى لحظة ما نرمز لها كالمعتاد بالرمز y • احسب لهذا الجـــزئ الذى سنفترض ان كتلته m كلا من : (أ) طاقة الوضـــع (P.E.) ، (ب) طاقة الحركة (K.E.) •

الحـــل :

(أ) من تعريف طاقة الوضع تبعا للصورة العامة بانها تكامل حاصل الضـــرب القياسى $(-F.dy)$

حيث F القوة المؤثرة على الجسيم بينما dy عنصر الازاحة • إذاً

$$(P.E.) = \int_0^y -F.dy = \int_0^y -(-ky).dy = \tfrac{1}{2}\, ky^2$$

$$= \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2\, y^2 \qquad (1-11)$$

وبالتعويض عن الازاحة y من معادلة (1-3) نلاحظ أن :

$$(P.E.) = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2\, A^2\, \sin^2 \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right] \qquad (1-12)$$

اى ان طاقة وضع الجسيم المهتز تتغير بالزيادة والنقصان اثناء الزمن الـدورى للاهتزاز $(T = 1/f = 2\pi/\omega)$ • ولكن يلاحظ أنه يتميز بقيمــة متوسطة اثناء الدورة الكاملة.وحيث ان متوسط قيمة مربع جيب أى زاوية خـــلال دورة كاملة (أى فى المدى من قيمة الزاوية θ = صفر الى $\theta = 2\pi$) عبارة عن المقدار ½ إذاً :

$$\overline{(P.E.)} = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2 A^2 \cdot (\tfrac{1}{2}) = m\, \omega^2 A^2/4 \qquad (1\text{-}13)$$

(ب) مرة اخرى من تعريف طاقة الحركة بأنها حاصل ضرب نصف كتلة الجسيـــم المتحرك فى مربع سرعة حركته ، حيث السرعة هنا هى سرعة حركته الاهتزازية التـــى تتصف بازاحة عبارة عن y ولذا فان تلك السرعة ببساطة عبارة عـــــن (dy / dt) كمشتقة تفاضلية لهذه الازاحة كالمعتاد • إذاً

$$(K.E.) = \tfrac{1}{2}\, m \left[\frac{d}{dt} \left\{ A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \right\} \right]^2$$

$$\therefore \quad (K.E.) = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2 A^2 \cos^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (1\text{-}14)$$

وبنفس الاسلوب الذى رأيناه بالنسبة لطاقة الوضع فان متوسط قيمة طاقة الحركة عبــارة عن :

$$\overline{(K.E.)} = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2 A^2 \cdot (\tfrac{1}{2}) = \tfrac{1}{4}\, m\, \omega^2 A^2 \qquad (1\text{-}15)$$

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الثانـــى

العلاقة بين شدة الصوت ومستويات شـــدة الصوت وضغطـــــــه

شدة الصـوت (I) - "Sound Intensity"

تعرف شدة الصوت عند نقطة مثل أ بانها كمية الطاقة الصوتية التى تعترضها فـــى الثانية الواحدة وحـــــدة المساحات العمودية على اتجـاه انتشار الصوت عند تلك النقطة٠

واذا افترضنا ان :

E = متوسط كمية الطاقـــة الصوتية الموجودة فـــى وحدة الحجوم مـــن الوسط الذى ينتشر فيه الصوت

رسم توضيحى لمفهوم شدة الصـــوت عند النقطة أ

شكـــل (٢ـ١)

أي : متوسط كثافة الطاقة الصوتية• مقدرة بالجول لكل متـــــــر مكعب (J/m^3) •

v = سرعة انتشار الصوت في هذا الوسط (m/sec)

ρ = كثافة الوسط (kg/m^3)

y = ازاحة جزيئات الوسط عند تلك النقطة من الوسط • وهي تبعـــــــا للمعادلة (1-3) :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (1-3)$$

ومن المفهوم الفيزيائي لمتوسط كثافة الطاقة الصوتية $\bar{E}$ فانها عبارة عن :

$\bar{E}$ = (متوسط كثافة طاقة الحركة لجزيئات الوسط)

+ (متوسط كثافة طاقة الوضع لها)

اي انها مجموع الكميتين التاليتين :

$$\bar{E} = \tfrac{1}{2}\,\rho\,\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \tfrac{1}{2}\,\rho\,\omega^2\,y^2 \qquad (2-1)$$

وقد سبق لنا في مثال (١ــ٥) ان رأينا ان كلا منهما يســـــــاوي $(\tfrac{1}{4}\, m\, \omega^2\, A^2)$ كما توضح المعادلتان (1-13) ، (1-15)

إذاً :

$$E = [\tfrac{1}{4}\, m\, \omega^2\, A^2 + \tfrac{1}{4}\, m\, \omega^2\, A^2] = [\tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2\, A^2]$$

$$= \tfrac{1}{2}\, \rho\, \omega^2\, A^2 \qquad (2\text{-}2)$$

وبالرجوع الى شكل (٢ـ١) الخاص بمفهوم شدة الصوت نلاحظ ان كميـــة الطاقة الصوتية التى تَعْبر وحدة المساحات العمودية على اتجاه انتشار الصوت-اى اتجاه سرعته v - هى الكمية التى كانت شاغلة حجما مقداره حاصل الضـرب $(v \times 1)$ إذاً شدة الصوت (I) عبارة عن حاصل ضرب هذا الحجم فى متوسط كثافة الطاقـة الكلية $\bar{E}$ وعلى ذلك فان :

$$I = \bar{E}.(v \times 1) = \bar{E}.v \;\left[\left(\frac{Joule}{m^3} \cdot \frac{m}{sec}\right) \equiv \frac{Watt}{m^2}\right] \qquad (2\text{-}3)$$

وبالتعويض من معادلة $(2\text{-}2)$:

$$\therefore\; I = (\tfrac{1}{2}\rho\, \omega^2\, A^2).v = \tfrac{1}{2}\,\rho\,(4\,\pi^2\, f^2)\, A^2.v$$

$$\therefore\; I = 2\,\pi^2 \rho\, v\, .\, A^2\, f^2 \quad Watt/m^2 \qquad (2\text{-}4)$$

وهذه النتيجة تُوضح لنا أن شدة الصوت (I) فى وسط ما تتناسب مــع (على افتراض ان الكثافة (ρ) والسرعة (v) ثابتتين) :

مربع سعة الاهتزاز (A^2) ،

مربع تردد الموجات الصوتية f^2 .

مثــال (٢ـ١) :

أ ـ احسب سعة الاهتزازة لجزيئاتهواء جوى ينتشر فيه صوت شدتــــه I_o تساوى ١٠^-١٢ وات / متر٢ (تردد ١٠٠٠ هيرتز) ـ علما بـــــأن هذه القيمة من شدة الصوت بهذا التردد تُعرف بأنها " عَتَبَة القُدرة السمعيــة لأذن الانسان العاديـــة (Threshold of hearing) فهى بذلك تُمثل أدنى قيمة لشدة الصوت الذى يمكن أن يثير الاحســـاس السمعى .

ب ـ كرر المطلوب فى الجزء أ بالنسبة لصوت شدته I_{pain} (تـردد ١٠٠٠ هيرتز أيضا) ـ علما بأن هذه تعرف بانها عَتَبَة الشعور بالتألم بالنسبـــة لأذن الانسان العاديـــة (Threshold of Feeling) وهى بذلك تُمثل أقصى قيمة لشدة الصوت يجب عدم تعريض الأذن لشدة اكبــر منها.حتى لايتعرض السامع لمشاكل صحية عديدة ليست قاصرة على جهاز السمع (راجع صفحة ١٧٠) .

نلاحظ فى هذا المثال أن الأذن العادية قد خَلَقها اللهُ سبحانه وتعالـــى بحيث تَكُون لها القُدرة على استيعاب مدى من شدة الصوت اتساعه مليون مليـــون

(اى ألف بليون) مرة قدر أى همس يمكنها سماعه .

الحـــــل :

(أ) بالتعويض المباشر فى العلاقة (2-4) نجدُ أن :

$$A = \sqrt{\frac{I_o}{2\,\pi^2\,\rho\; v\; f^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10^{-12}\ \text{Watt.m}^{-2})}{2.(10).(1.29\ \text{kg.m}^{-3}).(340\ \text{m/sec}).(10^{8}\text{sec}^{-2})}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.1 \times 10^{-20}}{8.84}} = 10^{-11}\ \text{m} \qquad (2\text{-}5)$$

أى ان سعة اهتزاز جزيئات الهواء (وبالتالى فى احسن الاحوال سعة اهتزاز غشـــاء طبلة الأذن) تقرب فى القيمة فى هذه الحالة من قيمة قطر ذرة الهيدروجيـــــــن (راجع صفحة ٨) .

(ب) بنفس الأسلوب نحصل على :

$$(A)_{I_{pain}} = 0.01\ \text{millimeter} = 10^{-5}\ \text{meter} \qquad (2\text{-}6)$$

اى ان سعة اهتزاز جزىء الهواء مليون مرة قدر القيمة فى الجزء "أ" من المثـــال الحالى • وهذا هو السبب فى وجوب عدم تَعْريض الأذن دون وقاية لمثل هذه الشدة العالية من الصوت وإلاّ تعرضت الطبلة للآلام الشديدة وربما للتمزق •

العلاقة بين شدة الصوت (I) وضغط الصوت (P) :

بالنسبة لحقل العمل التطبيقى لصوتيات المبانى فان المهندس يُفضـــل أن يَسْتبدل قياس شدة الصوت بما يقابلها من ضغط الصوت اذ أن الاخير لايحتـــاج الاّ لاستعمال مايشبه المانوميتر البسيط لاتمام عملية القياس •

وللتعرف على العلاقة بين شدة الصوت (I) وضغط الصوت (P) نبدأ بالمعادلة الرياضية التى تربط بين سرعة الصوت (v) فى وسط ما ومعامل المرونــه له (K) وكثافته (ρ) • وقد سبق الاشارة لها فى الباب الاول :

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \qquad (2-7)$$

وحيث أننا نتكلم عن انتشار الصوت فى الهواء إذاً $(K = -\Delta P/(\Delta V/V))$:

$$\therefore \; v = \sqrt{-\frac{\Delta P}{(\Delta V/V)\,\rho}} \qquad (2-8)$$

حيث الاشارة السالبة أضيفت لأن فى هذه الحالة الزيادة (ΔP) في الضغط يصاحبها نقصان (ΔV) في الحجم الاصلى (V) للمائع (الهواء) .

ولسهولة استنتاج العلاقة التى نود الحصول عليها بين (I) ، (P) لنعتبر جزء ما من الوسط الهوائى الذى تنتشر فيه الطاقة الصوتية حجمه V يساوى حاصل ضرب مساحة مقطع هذا الجزء (A) وطوله (Δx) اى أن

$$[V = A \cdot \Delta x]$$

عنصر من الحيز الذى يحتوى الطاقة الصوتية

شكل (٢ـ٢)

ولقد رأينا ان ازاحة الاهتزازه لجزيئات الوسط اثناء مرور الطاقة الصوتية عبارة عن :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (1-3)$$

وباجراء التفاضل الجزئى لهذه الازاحة y بالنسبة لإحداثى الموضع x عند لحظة t :

$$\therefore \frac{\partial y}{\partial x} = - \frac{2\pi A}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (2-9)$$

ومن اساسيات " حساب التفاضل " فان : $(\Delta V/V) = (\partial y/\partial x)$

إذاً بالتعويض في معادلة (2-8) والاستفادة من معادلـــة (2-9) نحصل على :

$$\therefore \Delta P = -\rho v^2 \left[-\frac{2\pi A}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \right]$$

$$\therefore \Delta P = 2\pi A \rho f v \sin \left\{ \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \frac{\pi}{2} \right\} \right.$$

(2-10)

وبمقارنة هذه العلاقة بمعادلة (1-3) الخاصة بإزاحة الاهتـــزازة y نلاحظ ان " التغير في الضغط ΔP " و " ازاحة الاهتـــــزازة y " يختلفان عن بعضها في " زاوية الطور $\emptyset$ " بمقدار $\pi/2$ (أى ٩٠°) . (راجع شكل (١ـ٢) والفرق بين المنحنى ب (الذى يمثل الازاحـــــة) والمنحنى جـ (الذى يمثل التغير في الضغط)) .

والآن في معادلة (2-10) نلاحظ أن القيمة القصوى للتغير فـــــى الضغط $(\Delta P)_{max}$ أثناء مرور موجات الصوت في الهواء ـ وتسمى " سعـــة تغير الضغط ويرمز لها عادة بالرمز P " عبارة عن :

$$P = (\Delta P)_{max} = 2\pi A \rho f v \qquad (2-11)$$

$$\therefore P^2 = 4 \pi^2 . A^2 . \rho^2 . f^2 . v^2 \qquad (2-12)$$

وسبق أن رأينا ان شدة الصوت (I) عبارة عن :

$$I = 2 \pi^2 . A^2 . \rho . v . f^2 \qquad (2-4)$$

وبقسمة المعادلة (2-4) على (2-12) نحصل على " شدة الصوت بدلالة مربع سعة تغير الضغط P^2 " :

$$I = \frac{P^2}{2 \rho v} \qquad (2-13)$$

وهذه العلاقة هي الأساس الذى يستخدمه المهندس لقياس شدة الصوت I بقياس فروق الضغط P . ولكنه يلاحظ أن مدى قيم شدة الصوت التى تشعر بها الأذن العادية كبير للغاية (يمتد من ١٠^-١٢ وات / متر٢ الى ١ وات / متر٢) ووضح ذلك فى مثال (٢ــ١) . هذا بالاضافة الى حقيقة اخرى وهى أن إحساس الأذن تجاه شدة الصوت هو "ظاهرة فيسيولوجية" بينما شدة الصوت نفسها "كمية فيزيائية" وبالقياس فى مثل هذه الحالات فان المهندس يقرر أن يُعبر عن شدة الصوت وما يكافئها من ضغط الصوت بمقياس لوغاريتمى مع استخدام القيمة القياسية ($I_o = 10^{-12}$ Watt/m²) ــ عند تردد ١٠٠٠ هيرتز ــ

أو ما يقابلها من (P_o) ٢٠٠٠٠ر٠ نيوتن / متر٢ (أى ٢٠ ميكروباسكال) كمرجع لهذا المقياس • وعلى هذا الأساس اتفق على التعاريف التالية :

مستوى شدة الصوت : **Sound Intensity Level (SIL)**

$$SIL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_o} \quad \text{decibel (dB)} \qquad (2-16)$$

وذلك نسبة الى العالم جراهام بل الاميريكى الاسكوتلاندى الأصل – مخترع التليفون •

مستوى ضغط الصوت : **Sound Pressure Level (SPL)**

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_o} \quad \text{dB} \qquad (2-15)$$

ونلاحظ ان معادلة (2-15) بها المعامل 20 بدلا من المعامل 10 فى معادلة (2-14) لأن I تتناسب مع مربع P تبعا لما رأيناه فى العلاقة (2-13) • وأى من هاتين المعادلتين (2-14) أو (2-15) تؤديان الى قيمة ما يمكن ان نعطيه الاسم العام " مستوى الصوت " أو " مستوى الضوضاء" •

مثـــال (٢ـ٢) :

أوجد مقدار الفائدة أو الفقد بالديسيبل الذى يقابل كل من التغيرات التاليـــة فى القدرة من P_1 الى P_2 :

أ ـ ١٥ مللى وات الى ٧٥ مللى وات ٠

ب ـ ١٢ر٠ مللى وات الى ٤ر٢ مللى وات ٠

حـ ـ ١٦ مللى وات الى ٥ مللى وات ٠

الحـــــل :

أ ـ مقدار الفائدة بالديسيبل عبارة عن (Gain) :

$$\text{Gain} = \text{الفائدة} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{75}{15} \qquad (2-16)$$

$$= 10\ (0.699) = +\ 6.99 \text{ dB}$$

$$\text{Gain} = 10 \log \frac{2.4}{0.12} = 10\ (1.301) = +13.01 \text{ dB} \quad (\text{ب})$$

(حـ) بما ان P_2 اقل من P_1 إذاً هناك فقد (Loss) عبارة عن :

$$\text{Loss} = \text{الفقد} = 10 \log \frac{5}{16} \qquad (2\text{-}17)$$

$$= 10\ (0.690 - 1.2041) = -5.14 \quad dB$$

مثـــال (٢ـ٣) :

إذا فرض أن القدرة المدرجة P_{in} لأحد مكبرات الصوت ١٢ر٠ مللــى وات وأن الفائدة الناتجة من استخدام ٣ مراحل بداخله للتكبير هى ٣٥ ، ١٢ ، ٦ر١ ديسيبل • احسب القدرة الناتجة P_{out} فى هذا المكبر •

الحـــل :

بما ان الفائدة الكلية بالديسيبل الناتجة من استخدام هذا المكبر عبارة عـــن مجموع الفائدة فى الثلاث مراحل • إذا

$$\text{الفائدة الكلية} = 35 + 12 + 1.6 = 48.6 \quad dB \qquad (2.18)$$

$$\therefore\ 48.6 = 10 \log_{10} \frac{P_{out}\ \text{القدرة الناتجة}}{P_{in}\ \text{القدرة المدرجة}}$$

$$\therefore \quad \log \frac{P_{out}}{P_{in}} = 4.86$$

$$\therefore \quad \frac{P_{out}}{P_{in}} = 72440$$

وعلى ذلك فان القدرة الناتجة هي :

$$P_{out} = 8692.8 \ mW = 8.69 \ Watts$$

مثـــال (٢ـ٤) :

لإصدار نغمة ما بواسطة آلة البيانو لنفرض أن القوة المؤثرة بأصبع من يعـــزف عليه هي ثقل ٤ر١ كجم وعلى مدى مسافة ٦ر١ سم • فاذا فُرض أيضا أن كفـــاءة (Efficiency) البيانو ٢ر٢ في المائة وأن ٥ر١ في المائة فقط من الطاقـــة التي يستقبلها مكبر صوتي بجوار البيانو تُوجه الى دائرته الكهربية الاولية ـ احســـب الفائدة بالديسيبل المطلوبة حتى يتم مايلي :

أ ـ أن ينبعث من المكبر نفس الطاقة المعطاه له بواسطة البيانو •

ب ـ أن ينبعث من المكبر نفس الطاقة التي يستقبلها البيانو •

الحـــل :

∴ البيانو الطاقة التي يستقبلها = (1.4 x 9.81 x 0.016) J

، البيانو الطاقة التي ينتجها = (1.4 x 9.81 x 0.016)x0.022 J

، للمكبر الطاقة التي توجه للدائرة الأولية = (1.4x9.81x0.016x0.022)x0.015J

(أ) إذًا الفائدة $(Gain)_1$ بالديسيبل المطلوبة من المكبر حتى ينبعث منه نفس الطاقة المعطاه له بواسطة البيانو عبارة عن :

$$(Gain)_1 = 10 \log_{10} \frac{(1.4 \times 9.81 \times 0.016) \times 0.022}{(1.4 \times 9.81 \times 0.016 \times 0.022) \times 0.015} \tag{2-19}$$

$$= 10 \ (\log 1000 - \log 15)$$

$$= 10 \ (1.824) = 18.24 \quad dB$$

(ب) بينما الفائدة $(Gain)_2$ بالديسيبل المطلوبة من المكبر حتى ينبعث منه نفس الطاقة التى يستقبلها البيانو عبارة عن :

$$(Gain)_2 = 10 \log_{10} \frac{(1.4 \times 9.81 \times 0.016)}{(1.4\times9.81\times0.016\times0.022\times0.015)} \quad (2-20)$$

$$= 10 \log \left(\frac{1}{0.00033}\right) = 10(5-1.5185)$$

$$= 34.82 \quad dB$$

مثـــــال (٢ـ٥) :

غرفة بها ماكينتان متشابهتان فى الضوضاء التى تصدر من أى منهما بمستــــــوى ٥٠ ديسيبل • احسب المستوى الكلي للضوضاء الصادرة من كليهما معا • كرر الحل اذا كان بهذه الغرفة عدد ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ١٠٠ صدر منها الضوضاء جميعا فـــــى نفس الوقت •

الحـــــل :

من معادلة (2-14) فان مستوى شدة الضوضاء SIL ترتبـــــط بشدة الضوضاء I كما يلى :

$$SIL = 10 \log \frac{I}{I_o} \quad dB$$

وفي هذا المثال لدينا

$$50\ dB = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \tag{2-21}$$

$$\therefore \log \frac{I}{10^{-12}} = 5 \quad , \quad \therefore \frac{I}{10^{-12}} = 10^5$$

$$\therefore I = 10^{-7} \quad Watt/m^2 \tag{2-22}$$

وهذه هي شدة الطاقة الصوتية الصادرة من ماكينة (مصدر الضوضاء) واحـدة فقط . إذاً شدة الطاقة الصوتية الكلية (I_c) الصادرة من المنبعين معـــا هي $(I_c = 2\ I)$ وبذلك فإن مستوى شدة الطاقة الكلية للمنبعيـــن معًا $(SIL)_c$ عبارة عن :

$$(SIL)_c = 10 \log \frac{I_c}{I_o} = 10 \log \frac{2\ I}{I_o} \tag{2-23}$$

وباستخدام النتيجة (2-22) نحصل على

$$(SIL)_c = 10\ [\log 2 + 5] = 53 \quad dB \tag{2-24}$$

أى ان اضافة منبع مماثل للمنبع الاول يزيد مستوى شدة الضوضاء بمقـدار ٣ ديسيبل • بنفس الاسلوب يتم الحل بالنسبة لأى عدد من منابع الصوت المتشابهـة من حيث شدة الطاقة الصوتية (والطيف الترددى) الصادرة من كل منها • والجدول التالى يلخص النتائج الخاصة بالمثال الحالي حيث مستوى شدة الصوت الصادرة مـــن كل منبع قيمته المعطاه ٥٠ ديسيبل :

عدد منابع الصوت المتشابهة	٣	٥	١٠	١٠٠
مستوى شدة الطاقة الصوتية الكلية	٥٤ر٨	٥٧	٦٠	٧٠
الزيادة عن مستوى الشدة لمنبع مُفرد	٤ر٨	٧	١٠	٢٠

بسم الله الرحمن الرحيم

البـاب الثالـث

العوامل التى تؤدى الى تَباين الأصوات عن بعضها

رأينا ان الصوت كطاقة يتميز بما يلى :

- سعة الازاحة لجزيئات الوسط الذى ينقل تلك الطاقة ـ مقدرة بالمتر .
- تردد الحركة الموجية الطولية ـ مقدر بالهيرتز ـ أو ما يقابله من طـــول موجى بالمتر . والتى تنتشر على أساسها تلك الطاقة .
- شدة الطاقة الصوتية ـ مقدرة بالوات / متر٢ .
- مستوى شدة الطاقة الصوتية ـ اى مستوى شدة الصوت (SIL) مقـــدر بالديسيبل أو ما يساويه من مستوى ضغط الصوت (SPL) مقـــدر بالديسيبل .

جميع هذه المميزات فيزيائية بمعنى أن قِيَمها يمكن أن تَدُلنا على كَوْن الطاقـة الصوتية الصادرة من منبعها قوية أو ضعيفة . ولكنها لاتدلنا على طبيعة هـــذا المنبع . فاذا كان شخصا يحدثنا فى التليفون مثلا فمن هو هذا الشخص . واذا كانت مركبة هل هى طائرة أو قطار أو سيارة أو موتوسيكل . واذا كان حيـــوان

فمن أى فصيلة .. وهكذا . ولقد خُلِقَت الأذن بفضل الله سبحانه وتعالى مُهيـّـأة لتحليل الطاقة الصوتية التى تستقبلها من واحد أو اكثر من مصادر الصوت الـــــى " مفرداتها " وعلى أساس هذا التحليل يتم لها أن تُدرك طبيعة كل من مصادر هــذه الطاقة الصوتية التى تستقبلها مجتمعة عند لحظة ما . وبهذه المعجزة الالهيــــة تستطيع الاذن ان تحكم على "ثلاث صفات " ذاتية للصوت هى : حدة الصـــوت ـ نوعية الصوت ـ علّو الصوت .

حدة الصوت أو مقام الصوت (PITCH) :

هذه الصفة تعتمد بصورة أساسية على تردد الصوت بمعنى أنه كلما كـــــان التردد عالٍ كانت حدة الصوت عالية وبالعكس . وربما يسهل توضيح مايُعنى بحــــدة الصوت وعلاقتها بالتردد وذلك بالاشارة الى حقيقة علمية خاصة بأن مركز تردد الاصوات الصادرة من الإناث ٩٠٠ هيرتز فى حين ان مركز تردد الاصوات الصادرة من الذكـور ٤٠٠ هيرتز ومن هذا يتضح بسهولة ان يُدرك المستمع ما اذا كان المتحدث سيــــدة أم رجل او طفلة ام طفل . ويساعد على سهولة هذا الادراك أن حدة الصـــــوت بجانب اعتمادها على التردد فانها تعتمد أيضا على كل من شـــدة الصـــــوت (Sound Intensity) والنمط الموجى للصـــــوت (Sound – Wave Form) الذى يعتمد بدوره على المُركّبات التوافقية المُكّونة للصـــوت

المسموع من حيث السعة (Amplitude) ونسب تواجدها ومزجهـا مع بعضها البعض (راجع ص بخصوص استخدام جهاز الاوسيلوسكوب لتحليل الصوت) وباختيار القيمة ١٠٠٠ هيرتز كدلالة عيارية للتردد أمكن تحديد سلسلة من القيـم العددية لتعيين حدة الصوت مقدرة بوحدات تسمى الملز (Mels) ـ مشتقـة من كلمة ميلودي (Melody) التي تعني عذوبة النغمة •

ويقصد بتردد النغمة تردد احد مركباتها وهي في المعتاد المركبة الرئيسية التـي تتميز باكبرسعة (يلاحظ ان جميع النغمات فيما عدا النغمة الصادرة من الشوكـة الرنانة عبارة عن نغمات مركبة) • بينما يلاحظ أن الفاصلة الترددية بين حـدى نغمتين يعتمد على النسبة بين ترددبها وليس على القيم المطلقة لتردد النغمة •

وأحد الانماط لتقسيم النغمات ما يسمى بالنمط الثمانـي (Octave) والمثال التالي يوضح المقصود به :

لنفترض ان لدينا ثلاث ترددات بشرط ان واحد منها يساوي نصف أو ضعـف الآخر مثل : ٢٥٦ هيرتز ـ ٥١٢ هيرتز ـ ١٠٢٤ هيرتز يقـال حينئذ أن :

النغمة ذات التردد ٥١٢ هيرتز تمثل الطبقة الثمانية الأعلى للنغمـة ذات

التردد ٢٥٦ هيرتز • وهى نفسها ذات التردد ٥١٢ هيرتز تُمثل الطبقة الثانيـــة الأذنى للنغمة ذات التردد ١٠٢٤ هيرتز •

ويلاحظ بهذا الخصوص أن النغمات الموسيقية تتميز عن ما دونها من أصـــوات أن أطيافها خطية بينما بقية الاصوات تكون أطيافها متصلة بمعنى ان المركبـــــات ذات ترددات تشمل قِيم متصلة وتغطى مدى متصل محدود •

نوعية الصوت : (Quality or Timbre)

هذه الصفة هى التى تميز بين نغمتين لهما نفس التردد الاساسى ونفس الشـدة ولكنهما صادرتان من مصدرين مختلفين مثل آلة الكمان والطبلة أى لهما نمط موجـــى مختلف ولهذا فان التمييز بينهما يتحدد بتراكيب الفوق نغمية اى تردداتها وسعة كـــل منها بالاضافة الى طبيعة معدل ازدياد تلك السعة عند بدء إطلاق الصوت ومعـــدل تناقصها عندما يتوقف منبع الصوت •

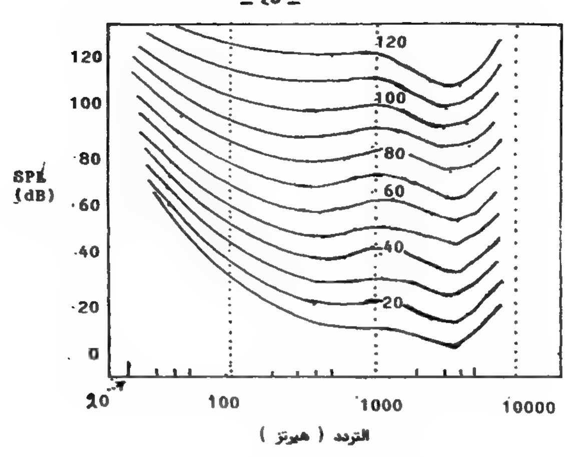
عُلـو الصـــــوت : (Loudness)

علو الصوت الفيزيائى : ووحداته هى " الفون " (Phon)

هذه الصفة هي التي تُميز الاحساس بتواجد نغمتين لهما نفس الشدة ولكنهمـــا مختلفتان في التردد فيحدث أن إحداهما مسموعة بوضوح تام بينما النغمة الاخـــرى غير مسموعة بتاتا أو ربما مسموعة ولكنها خافتة بدرجة ملحوظة :

على سبيل المثال توضح القياسات المعطية ان الأذن العادية اكثر ماتكون احساسا بالصوت عند تردد ٢٥٠٠ هيرتز حيث تكون قادرة علـــــى الاحســـــــــاس والتعرف على الصوت شدته (٤ر٠ × ١٠$^{-١٢}$ وات / متر٢) ولكن لو تغيـــــر التردد من ٢٥٠٠ هيرتز الى ١٠٠٠ هيرتز فان نفس هذه الأذن لا تشعر بـــأن هنالك اى صوت إلاّ اذا زيدت شدته الى (١ × ١٠$^{-١٢}$ وات / متر٢) . هـــذه الحقيقة موضحة في شكل (٣ـ١) .

وحيث ان القياسات الهندسية الصوتية تؤخذ في المعتاد بالنسبة للتـــــردد ١٠٠٠ هيرتز فقد اتفق على ان يكون مستوى ضغط الصوت عند هذه القيمـــــة من التردد هو المقياس لعُلو الصوت مقدرا بوحدات الفـــون (Phons) . ولذلك يلاحظ في شكل (٣ـ١) ان كل منحنى من منحنياته قيمة عُلو الصـــــوت الخاصة به بالفون تقابل نفس القيمة العددية لمستوى ضغط الصوت بالديسيبـــــل عند التردد ١٠٠٠ هيرتز . والجدول (٣ـ١) يلخص بعض الامثلة لعلـــــو الصوت ذات القيم المختلفة والمتباينة (افتراض تردد متوســـــــط ١٠٠٠ هيرتز) .



فى هذا الشكل كل منحنى يختص بعُلو صوت ثابت له قيمة معينة مقـــدرة بالفون وذلك مع تغير كل من التردد (بالهيرتز) ومستوى ضغط الصوت بالديسيبل •

لنأخذ أى منحنى منها وليكن المنحنى " ٥٠ " فون على سبيل المثال :

ـ عُلو الصوت ٥٠ فون عند تردد ٣٥٠٠ ومستوى ضغط صوت ٤٣ •

ـ عُلو الصوت ٥٠ فون عند تردد ١٠٠٠ ومستوى ضغط صوت ٥٠ •

ـ عُلو الصوت ٥٠ فون عند تردد ١٠٠ ومستوى ضغط صوت ٥٨ •

منحنيات علو الصوت المتســاو

شكل (٢ـ١)

جدول (٢ـ١)

المنبع	شدة الصوت وات / متر٢	مستوى شدة الصوت ديسيبل dB	مستوى ضغط الصوت ديسيبل dB	عُلو الصوت (فون)
اوركسترا (٥٠ عازفا) او داخل مصنع لـــه ضجيج عال او داخـــل طائرة محلقة في الجو.	٠ر٠١	١٠٠	١٠٠	١٠٠
راديو عال الصـــوت أو داخل سيارة والمحرك يعمل.	٠ر٠٠٠١	٨٠	٨٠	٨٠
داخل مكتب به أنـــاس يتحدثون.	٠ر٠٠٠٠٠١	٦٠	٦٠	٦٠
داخل مسكن هادىء او داخل غرفة نوم.	٠ر٠٠٠٠٠٠٠١	٤٠	٤٠	٤٠
غرفة هادئة جـــدا أو داخل مســـرح بدون عمل.	٠ر٠٠٠٠٠٠٠٠٠١	٢٠	٢٠	٢٠

العُلو الذاتي للصوت - مُقدراً بالسون (Subjective Loudness "Sones")

هذه الصفة هي التي تحدد الشعور بالتغير في عُلو الصوت . فقد رأينا أن العلو الفيزيائي للصوت مقدرا بالفون له أساساً مقياس لوغاريتمي نظرا لانه مرتبط ارتباطا مباشرا بمستوى شدة الصوت مقدرا بالديسيبل . لهذا السبب يجب أن نلاحظ ما يأتي :

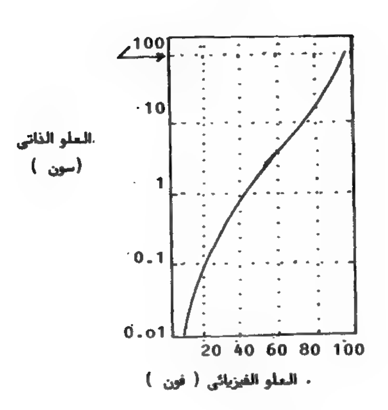
زيادة العلو الفيزيائي للصوت من ١٠ فون الى ٢٠ فون (على سبيل المثال) لايكافيء :

زيادة العلو الفيزيائي للصوت من ٥٠ فون الى ٦٠ فون من ناحية " الشعور " بالتغير في علو الصوت أي من ناحية ما يطلق عليه " بالعلو الذاتي للصوت " .

مثال مُبسط آخر

إذا كان هناك صوتا عُلوه ٦٠ فون فاننا لانستطيع ان " نحكم " بأن هذا الصوت عُلوه ضعف عُلو صوت آخر مستواه ٣٠ فون .

لهذا السبب فان العُلو الذاتي للصوت يُستخدم وحدات أخرى هي السون (Sones) حيث يُعرّف بأنه عُلو الصوت لنغمة ترددها ١٠٠٠ هيرتز ومستوى شدتها ٤٠ ديسيبل كما انها عُلو الصوت لأيّ نغمة العلو الفيزيائي لها عبارة عن ٤٠ فون . ويوضح شكل (٣-٢) العلاقة بين العُلو الفيزيائي لصوت ما والعلو الذاتي له .



يلاحظ في هذا الشكل انه في المدى بين (٤٠ ، ١٠٠ فون) فـــإن الزيادة في العلو الفيزيائي بمقدار ١٠ فون يقابله زيادة في مقدار العلو الذاتـــي بمقدار الضعف •

ويُعبر عن تلك الحقيقة بالعلاقة :

Log(Loudness in Sones) =
= 0.33 [(Loudness in Phons)-40]

العلاقة بين العلو الفيزيائي والعلو الذاتي للصوت

شكل (٣ـ٢)

بينما جدول (٣ـ٢) يعطى بعض الأمثلة لمصادر الضوضاء ومستويات عُـلُو الصوت مقدرا بالفون وما يقابله بالسون •

جدول (٣ـ٢)

مثال لمصدر الضوضاء	فـون	سـون
طائرة نفاثة على بعد ٣٨ متر من سطح الأرض	١٤٠	١٠٢٠
تثبيت مسمار برشام فى لوح من الحديد على بعد ٢ متر	١٣٠	٥١٠
طائرة هيليوكوبتر على بعد ٣٨ متر عن سطح الأرض	١٣٠	٥١٠
قطار كهربائى على كوبرى حديد على بعد ٦ متر . . .	١١٠	١٣٠
ماكينة نسيج	١٠٠	٦٤
حفار طريق على بعد ٣٨ متر	٩٠	٣٢
حركة مرور كثيف عند جانب الطريق	٨٥	٢٢
مطعم صغير	٨٠	١٦
صوت رجل يتحدث على بعد متر	٧٥	١١
مكتب آلة كاتبة بسقف معالج صوتيا	٧٥	١١
حركة مرور خفيف عند جانب الطريق	٥٥	٣

مثـــال (٣ـ١) :

أ ـ احسب العُلو الذاتي الكلي لعدد ست نغمات نقية ترددانها (١٢٥ و ٢٥٠ و ٥٠٠ و ١٠٠٠ و ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ هيرتز) • ومستوى شدة كل منهـا ٦٠ ديسيبل •

ب ـ احسب القيمة بالفون التى تقابل العلو الذاتي الكلى •

حـ ـ على فرض ان هذه القيمة خاصة بنغمة واحدة ترددها ١٠٠٠ هيرتز ما قيمـة مستوى شدة الصوت عندئذ •

د ـ قارن بين هذه القيمة وشدة الصوت المقابلة للست نغمات المعطاه •

الحـــل :

من شكل (٣ـ١) نحصل أولا على قيم العلو الفيزيائي لكل من النغمـات الستة تبعا لترددها والتى تقابل القيمة الثابتة المعطاه لمستوى شدة الصوت وهـى ٦٠ ديسيبل • ثم من شكل (٣ـ٢) نحصل بعد ذلك على قيم العلو الذاتـى لكل نغمة :

تردد النغمة (هيرتز , Hz)	مستوى شدة الصوت (dB)	العلو الفيزيائي للنغمة (فون)	العلو الذاتي للنغمة (سون)
١٢٥	٦٠	٣٥	٠ر٧
٢٥٠	٦٠	٥٤	٣ر٠
٥٠٠	٦٠	٥٩	٤ر٣
١٠٠٠	٦٠	٦٠	٤ر٥
٢٠٠٠	٦٠	٦٢	٥ر٠
٤٠٠٠	٦٠	٦٠	٤ر٥

إذاً مجموع العلو الذاتي للنغمات الستة = ٢٢ سون ٠

(ب) بالرجوع لشكل (٣ـ٢) نجد ان هذه القيمة ٢٢ سون تقابل علو فيزيائي قيمته ٨٠ فون ٠

(حـ) بما ان التردد ١٠٠٠ هيرتز فان القيمة ٨٠ فون تقابل مستوى شدة صوت ٨٠ ديسيبل (تبعا لتعريف الفون) ٠

(د) اذا أردنا ان نحسب مستوى الشدة الكلية للصوت المقابلة للقيمة ٢٢ ســـــون نتيجة الست نغمات المعطاه والتى فرض ان مستوى شدة كل منهـــا (I_1) ٦٠ ديسيبل — فكما رأينا فى مثال (٢—٥) :

$$60 = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \quad , \quad \therefore \; I_1 = 10^7 \; I_2$$

وهذا معناه ان الست نغمات مجموع شدتها $6 \; I_1$ وعلى ذلك مستـــــوى الشدة المقابل لها $(IL)_{tot}$ عبارة عن :

$$(IL)_{tot} = 10 \log \left(\frac{6 \; I_1}{I_o}\right) = 67.7 \; dB$$

وذلك بدلا من ٨٠ ديسيبل فى حالة نغمة واحدة بتردد ١٠٠٠ هيرتـــــز ٠
هذا المثال يوضح ان " طاقة صوتية معينة يعتبرها السامع ذات علو ذاتى اكبر عندمـــ تكون تلك الطاقة موزعة على مدى واسع من التردد عما اذا استقبلها السامع مُركزة علـــى تردد مفرد ٠

مثـــال (٢—٢) :

على فرض العلاقة التالية والسابق الاشارة اليها بخصوص المنحنى الذى يربـــد بين العلو الفيزيائى والعلو الذاتى للصوت :

$$\text{Log (Loudness, in Sones)} = 0.033\ [\text{Loudness Level in Phons} - 40]$$

$$= 0.033\ LL - 1.32$$

وضح انه عند تردد ١٠٠٠ هيرتز فان العلو الذاتي للصوت بالسون يتناسب مع الجذر التكعيبي لشدة الصوت مقدرة بالوات / متر٢ ٠

الحــل :

من تعريف الفون يمكننا القول ان العلو الفيزيائي للصوت LL عبارة عن :

$$LL = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}}\right) = 10 \log I + 120$$

$$\therefore \log L = 0.033\ [10 \log I + 120]$$

$$= 0.033\ LL - 1.32$$

$$\therefore \log L = 0.33 \log I + 2.64$$

$$= 0.33 \log I + \log 445$$

$$\therefore L = 445\ I^{0.33}$$

مثـــال (٣ـ٣) :

احد العاملين فى مصنع ما يتعرض لمدة ساعتين اثناء عمله اليومى لمستـــــوى ضوضاء قدره ١٠٠ ديسيبل وساعتين أخرتين لمستوى ٩٥ ديسيبل واربع ساعـــات لمستوى ٩٠ ديسيبل . فهل هذا مقبول صحيا ؟

الحـــل :

لحل هذا المثال علينا ان نستخدم العلاقة الخاصة بالنسبة المئوية للجرعـــة اليومية من الضوضاء D وهى عبارة عن :

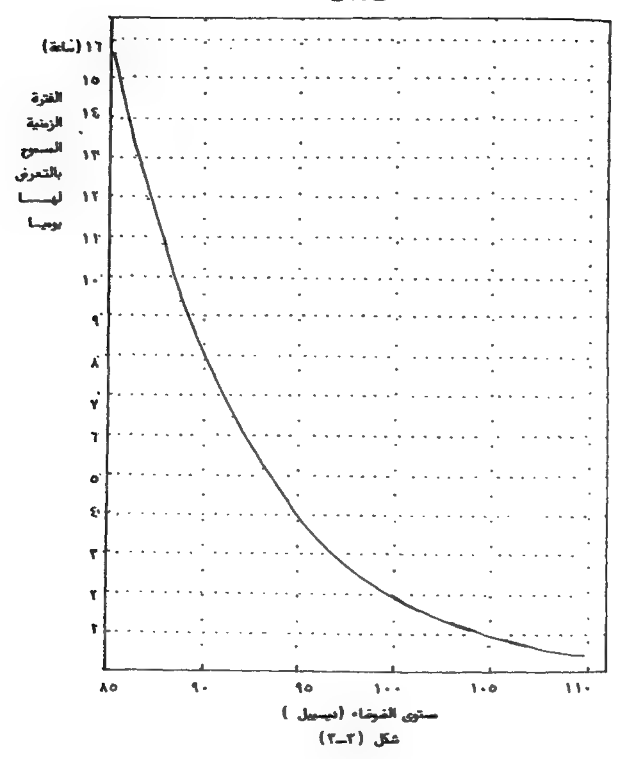
$$D = 100 \left[\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \cdots + \frac{C_N}{T_N}\right]$$

حيث :

١ و ٢ و ٣ تعود على الدورات المتتابعة للتعرض لمختلف المستويات .

C هى الفترة الزمنية الفعلية للتعرض للمستوى .

T هى الفترة الزمنية المسموح بها عند كل مستوى تبعا للمتفق عليه عليا والموضـح بشكل (٣ـ٣) الخاص بالفترة الزمنية المسموح بها لاستقبال اقصى مستويـات لضغط الصوت . للحفاظ على القدرة السمعية من التلف) .


١٦ (ساعة)
١٥
١٤
١٣
١٢
١١
١٠
٩
٨
٧
٦
٥
٤
٣
٢
١
الفترة الزمنية المسموح بالتعرض لهـا يوميـا
٨٥
٩٠
٩٥
١٠٠
١٠٥
١١٠
مستوى الضوضاء (ديسيبل)

شكل (٣-٣)

ومن هذا الشكل نحصل على قيم T الخاصة بالمثال الحالي فنجـــــد انها ٢ ، ٤ ، ٨ ساعة بالنسبة للمستويات ١٠٠ و ٩٥ و ٩٠ ديسيبل علـــى التوالي ، إذاً

$$D = 100 \left[\frac{2}{2} + \frac{2}{4} + \frac{4}{8}\right] = 200$$

وحيث ان هذه القيمة اكبر من ٥٠ في المائة إذاً هذا الوضع بالنسبة للعامـــل في هذا المصنع غير مقبول صحيا ، ويجب على ادارة المصنع ان يتناوب اكثر مـــن عامل للتعرض لمثل هذه المستويات من الضوضاء حتى يتعرض كل منهم بما يحقق ان قيمة D اقل من ٥٠ في المائة ،

مثـــال (٣ـ٤):

لنفرض في المثال السابق انه قد تمت المعالجة الصوتية (راجع البـــاب الخامس) لمكان العمل بحيث انخفض مستوى الضوضاء بمقدار ٦ ديسيبـــل ، وان العامل قَصُر زمن تعرضه لكل من المستويات الثلاثة بمقدار ساعة كاملـــة ، فما الموقف إذاً ؟

الحــــل :

الوضع الجديد اصبح كالتالى :

مستوى ضوضــاء ٩٤ ديسيبل لمدة ساعة واحدة

مستوى ضوضــاء ٨٩ ديسيبل لمدة ساعة واحدة

مستوى ضوضــاء ٨٤ ديسيبل لمدة ٣ ساعــات

$$\therefore \; D = 100 \left[\frac{1}{4.5} + \frac{1}{9} + \frac{3}{\infty} \right]$$

حيث تم التعويض بما لا نهاية عن قيمة T_3 المقابلة لمستوى الضوضــــاء ٨٤ ديسيبل لأنه ليس لها حد زمنى •

$$\therefore \; D = 33.3 \,\%$$

وهذا مقبول صحيا •

بسم الله الرحمن الرحيم

البـــاب الرابـــع

الضوضاء التى منشؤها خارج المبانى وطرق التحكم فيها
بالطريق العـــام

أشرنا فى بداية الباب الأول (صفحة ٢) الى بعض المصادر الرئيسيـــة للازعاج الصوتى • أى الضوضاء بمعنى أى صوت غير مرغوب فيه من قِبَل المستمع •

ونود هنا ان نناقش بعض طرق التحكم فى مثل هذه الضوضاء بالنسبـــة للأشخاص الموجودين بالطريق العام أساسا • واذا ما تم ذلك التحكم سوف يكـــون له ـ فى معظم الأحيان ـ الفائدة الكبرى أيضا بالنسبة للأشخاص الموجوديـــن داخل المبانى •

وأهمية الحفاظ على مستويات منخفضة (بقدر الامكان) للضوضاء علـــى اختلاف مصادرها بالطريق العام تتبين لنا من :

١ ـ تحاشى التلف الممكن حدوثه للأذن بصفة خاصة وبقية أجهزة الجسم البشـــرى (راجع الباب السابع) اذا ما كانت تلك الضوضاء عالية لمستـــوى

غير عادى واذا ما زاد زمن التعرض لمثل هذه الضوضاء لفترات أطول من المسموح بها طبيا (راجع مثال (٣ـ٣)) ٠

٢ ـ كلما علا مستوى الازعاج الضوضائى بالطريق العام أصبح التحكم فى الأمن العام ضعيفا وعمت ظواهر الفوضى فى المجتمع ٠

٣ ـ يجب العمل على الحفاظ على حق الشخص فى الهدوء الذى ينشده سواء وهو متجه الى عمله أو بيته أو مدرسته أو المستشفى أو حتى وهو فى احد المتنزهات العامة ٠

التحكم فى الضوضاء عند المصدر وبفعل البعد بينه وبين المستمع :

مسألة التحكم فى الضوضاء تتضمن ثلاث عناصر هى :

مصدر الضوضاء ـ المستمع ـ المسار بين المصدر والمستمع

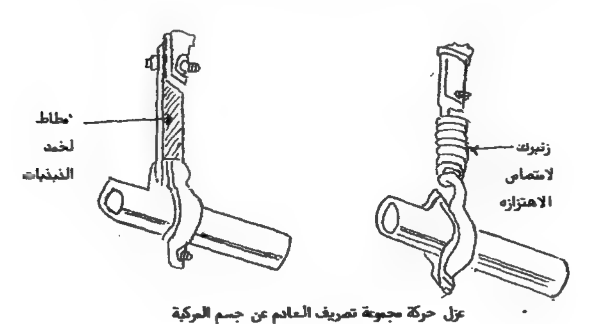
فى حالة الطريق العام تتمثل مصادر الضوضاء فى نوعيات المركبات التالية :

الموتوسيكلات ـ سيارات الركوب ـ عربات النقل ـ القاطرات (سواء المترو أو قطار (السكك الحديدية) ٠ وتنشأ الضوضاء فى مثل هذه المركبات من أجزاء عدة خاصة بها ٠

على سبيل المثال :

- الموتـــور : ويراعى فى تصنيعه تزويده بخامدات للذبذبات وبالتالى خافـــض للضوضاء الناتجة.مع مراعاة احكام غلق الغطاء الخاص بالموتور لعزل تلـــك الضوضاء با كبر قدر ممكن ٠

- مجموعة تصريف العادم : ويراعى فى تصنيعها تزويدها بمواد مُبطنة لهـــا القدرة على امتصاص قدر كبير من الصوت الناتج عن حركة الغازات والابخــرة الناتجة من احتراق الوقود ٠ كما يراعى فى طرق تركيبها بالمركبة أن تُثبـــت بمجموعات من شأنها عزل الذبذبات الخاصة بها عن جسم المركبة باتباع اساليب



عزل حركة مجموعة تصريف العادم عن جسم المركبة

شكل (٤-١)

تشبه الموضحة في شكل (٤ـ١) • (كلنا نعلم الفرق الكبير في مستوى الضوضاء الصادر من مركبة عندما يتلف " الشاكمان " أو عند فتح غطاء الموتور ــ لذلك يجب على المسئول عن المركبة مراعاة ذلك ليساعد في خفض مستوى الضوضاء في الطريق العام) •

ــ مجموعة السحب •

ــ الاطارات او العجلات المُحمّل عليها المركبة •

ولقد أوضحت التجارب أن جميع هذه الاجزاء تتصف بأن الضوضاء الصادرة من كل منها هي دالة لسرعة المركبة V • وبتحليل نتائج تلك التجارب أمكن التوصل الى العلاقات الرياضية اللازم إستخدامها لحساب مستوى الضوضاء تبعا لنوعية المركبة الصادرة منها • وذلك على فرض أن الشخص يبعُد عن المركبة مسافة قدرها ١٥ متر :

أ ــ ضوضاء الموتوسيكلات (ويلاحظ أنها تكون اكبر ما يمكن اثناء عملية التعجيل من سرعة صغيرة الى سرعات أكبر ــ بينما تأثير الاطارات يُمكن اهماله) :

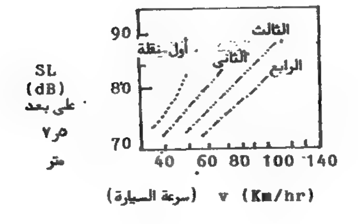
$$L = 77.5 + 25 \log \left(\frac{V}{88}\right) \quad dB \qquad (4-1)$$

ب ــ ضوضاء السيارات والجزء الاكبر منها ناتج من الاطارات بجانب تلك الصادرة من الموتور وبقية أجزاء السيارة (يلاحظ أنه عند السرعات الصغيرة فمجموعة الدفع هي مصدر الضوضاء الرئيسي خصوصا عند التعجيل السريع • بينما عند

السرعات العالية فان تفاعل الاطارات مع ارضية الطريق تصبح هي المصـــــدر الرئيسي للضوضاء) :

$$L = 71.1 + 32 \log \left(\frac{v}{88}\right) \quad dB \qquad (4-2)$$

والجدول التالي يلخص بعض النتائج الخاصة بضوضاء السيارات كدالة للتـــودد بجانب متوسط مستواها وذلك بالنسبة لسرعتين مختلفتين الاولى منها ٥٦ كم/ساعـة والثانية ٨٨ كم / ساعة :



السرعة \ التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	المتوسط
٥٦ كم/ساعة	٦٥	٦١	٦٢	٦١	٥٧	٥٣	٦٥
٨٨ كم/ساعة	٧١	٦٨	٦٦	٦٨	٦٦	٦٠	٧٢

وبالنسبة لضوضاء عربات النقل فهى تزيد كثيرا عن تلك الصادرة من السيارات وتصل فى المتوسط الى ٨٣ ديسيبل عند سرعة ٥٦ كم / ساعة • وحوالى ٩٠ ديسيبل للسرعات الاكبر من ذلك • اما الضوضاء الصادرة من القطارات فقد تصل الى ٩٥ ديسيبل (راجع تذييل ٣) •

بينما الطائرات النفاثة يصل مستوى الضوضاء الصادرة منها الى ١٢٠ ديسيبل بالنسبة للاشخاص على جانب الطريق وهى مُحلقة فى الجو (فى حدود زاوية ٣٠° بالنسبة لها) •

مثـــال (٤ـ١) :

احسب مستوى شدة الصوت (L_r) على بعد r = ٣٠ متر وكذلـــــك على بعد r = ٦٠ متر من سيارة يَصْدُر منها ضوضاء بمستـــــوى (L_{ref}) على البعد القياسي (r_{ref} = ١٥ متر) مقداره ٧٢ ديسيبل ٠

الحـــــل :

حيث ان المطلوب مستوى شدة الصوت (L_r) على ابعاد مختلفـــــة r بالنسبة لسيارة واحدة ٠ إذاً علينا تطبيق العلاقة المبنية على أساس قانون التربيـع العكسي :

$$L_r = L_{ref} - 20 \log \left(\frac{r}{r_{ref}}\right) \qquad (4\text{-}3)$$

$$= 72 - 20 \log \left(\frac{r}{15}\right)$$

$$\therefore L_{30} = 72 - 20 \log 2 = 72 - 6.02 = 66 \text{ dB}$$

$$, L_{60} = 72 - 20 \log 4 = 72 - 12.04 = 60 \text{ dB}$$

مثـــال (٤ـ٢) :

لنفرض أن كثافة المرور على احد الطرق السريعة تساوى ٩٠ سيارة ركوب فـــي الساعة وأن السرعة المتوسطة للسيارة ٧٥ كم / ساعة (أى أن المسافة المتوسطـــة بين كل سيارتين متتاليتين ٨٣ متر) ٠ ومستوى الضوضاء على بعـــــــــد r_{ref} = ١٥ متر عبارة عن ٧٢ ديسيبل ٠ احسب مستوى الضوضاء على بعـــد ٣٠ متر وايضا ٦٠ متر ٠

الحـــــل :

فى هذه الحالة علينا استخدام العلاقة المرتبطة بالتماثل الاسطوانى لمصـــادر الصوت المقابل لانبعاث الطاقة الصوتية من صف السيارات المتلاحقة خلف بعضهـــا البعض والتى تنص على :

$$L_r = L_{ref} - 10 \log \left(\frac{r}{r_{ref}}\right) \qquad (4-4)$$

$$\therefore \quad L_{30} = 72 - 10 \log \left(\frac{30}{15}\right) = 69 \quad dB$$

$$, \quad L_{60} = 72 - 10 \log \left(\frac{60}{15}\right) = 66 \quad dB$$

ملحوظة : في هذا المثال والمثال السابق افترض عدم وجود جدار عاكس للطاقة الصوتية بالقرب من المستمع ولذلك استخدم قانون التربيع العكسي وقانون التناسب مع المسافة مباشرة .

مثال (٤-٣) :

قطار شحن بضائع بطول ١٫٤ كيلو متر يجره قاطرتان ويصدر بذلك ضوضاء مستواها ٩٥ ديسيبل على بعد (r_{ref} = ٣٠ متر) منها . فعلى فرض أن كل ساعة يمر قطاران من هذه النوعية بسرعة متوسطة لكل منها قدرها ٥٤ كم / ساعة . احسب مستوى شدة الصوت على مسافة ٣٠ متر ، ايضا مسافة ٣٠٠ متر من شريط السكة الحديد .

الحل :

العلاقة الرياضية التي تعطي مستوى شدة الصوت الناتج عن القاطرة عبارة عن :

$$(L_{eq})_{\text{قاطرة}} = 95 + 10 \log (t_d \text{ "الزمن" }) \text{ dB} \quad (4-5)$$

حيث t_d = الفترة الزمنية المكافئة لمرور القاطرة بالنسبة لمستمع مقدرة بالساعة. وبالنسبة للضوضاء الصادرة من عجلات القطار اثناء حركتها على قضبان السكة الحديد فان :

$$(L_{eq})_{\text{الشريط الحديد}} = 85 + 10 \log (t'_d) \qquad (4-6)$$

حيث t'_d = الفترة الزمنية المكافئة لمرور القطار " بأكمله " بالنسبة للمستمع مقدرة بالساعة .

ولحساب t_d نلاحظ ان كل قطار مزود بقاطرتين وحيث ان كل ساعة يمر قطاران اذا :

t_d = (عدد القاطرات) × (عدد القطارات فى الساعة)
× (الزمن الذى تستغرقه القاطره لتغطى المسافة المساوية لضعف طول الخط العمودى الواصل بين المستمع وشريط السكة الحديد والذى يقابل تلك المسافة عند منتصفها) . (4-7)

أى أن :

$$t_d = (2).(2).(4 \text{ sec}) = \frac{1}{150} \text{ hr}$$

وعلى ذلك فمستوى الضوضاء الناتجة من مرور القاطرتين امام المستمع عبارة عن :

$$(L_{eq})_{\text{قاطرتين}} = 95 + 10 \log \left(\frac{1}{150}\right) = 73.2 \quad dB$$

أما بالنسبة للضوضاء الصادرة من قضبان السكة الحديد نتيجة مرور القطـــــار الذى طوله ٤ر١ كيلو متر امام المستمع فان :

t'_d = (زمن مرور القطار كله امام المستمع)

× (عدد القطارات التى تمر فى الساعة) (4-8)

$$\therefore \; t'_d = (2) \,.\, \left(\frac{1.4}{54}\right) = \frac{1}{19.2} \quad hr$$

$$\therefore \; (L_{eq})_{\text{عجلات القطار}} = 85 + 10 \log \left(\frac{1}{19.2}\right) = 72.2 \quad dB$$

والآن عند حساب مستوى الضوضاء على بعد ٣٠٠ متر نطبق العلاقة الخاصـــة بخفض مستوى الضوضاء نتيجة البعد r (راجع مثال (٤ـ٢) :

$$(L_r)_{\text{قاطرة}} = (L_{eq})_{\text{قاطرة}} - 10 \log \left(\frac{300}{30}\right) = 63.2 \quad dB$$

$$, \quad (L_r)_{\text{قطار}} = (L_{eq})_{\text{قطار}} - 10 \log \left(\frac{300}{30}\right) = 62.2 \quad dB$$

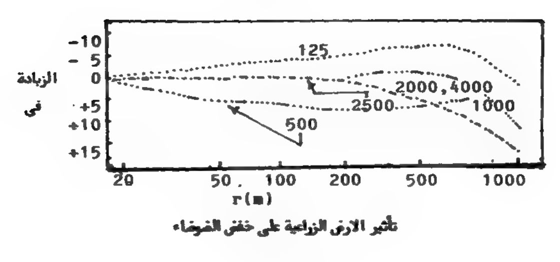
ملحوظة: في حالة المسافات الكبيرة التي تفصل بين المصدر والمستمع يجب أخـــذ عاملين لخفض الضوضاء في الاعتبار . اولهما امتصاص الطاقة الصوتية بفعـل جزيئات الهواء الجوى وهذا مايوضحه الجدول التالي :

امتصاص الطاقة الصوتية بفعل جزيئات الهواء وتغيره مع تغير درجة الحرارة والرطوبة النسبيـــــــة

(لكل ١٠٠٠ متر)

الشريط الثمانى للتردد (هيرتز)	خفض الطاقة الصوتيـــــة بالديسيبـــــــل					
	٢١° مئوية			٢° مئوية		
	الرطوبة النسبية المئوية			الرطوبة النسبية المئويـة		
	٤٠	٦٠	٨٠	٤٠	٦٠	٨٠
٦٠٠ ـ ١٢٠٠	٣	٣	٣	١٠	٦	صفر
١٢٠٠ـ٢٤٠٠	١٢	٦	٦	٣٣	١٦	٣
٢٤٠٠ـ٤٨٠٠	٣٣	١٦	١٦	٤٩	٤٩	٣٣
٤٨٠٠ـ٩٦٠٠	١٣٠	٨٢	٤٩	٨٢	١٣٠	٨٢

وثانيهما امتصاص الطاقة الصوتية بفعل الارضية الفاصلة بين المصدر والمستمـع. فاذا كانت هذه الارضية صلبة كأن تكون خرسانية فان النقص الناتج عنها يمكن اهمالـه. أما اذا كانت الارضية مغطاه بطبقة من الحشائش الخضراء يمكن استخدام المنحنيـــات الموضحة فى شكل (٤ـ٢) .



تأثير الارض الزراعية على خفض الضوضاء

شكل (٤ـ٢)

__ملحوظة اخرى :__ اذا كان المستمع موجود بمحطة السكة الحديد ويوجد بالقـــــرب منه جدار مبنى المحطة مثلا فانه يجب اخذ " اتجاهيه " المصدر فى الاعتبار مثلمـــا سيوضح فيما بعد ٠

التحكم فى الضوضاء فى الطريق العام باستخدام حاجز بين المصدر والمستمع :

يقصد بكلمة حاجز اى جسم صلب (طبيعى أو صناعى) يعترض الممـــــر الواصل بين منبع الضوضاء (قطار ـ سيارة ـ ماكينة خلط خرسانة ٠٠٠ الـــخ) والمستمع (أناس داخل مستشفى ـ مدرسة ـ مبنى ادارى ـ مبنى سكنـــى ٠٠٠ الخ) ٠

معامل نفاذية الطاقة الصوتية (ﭖ) لحاجز :

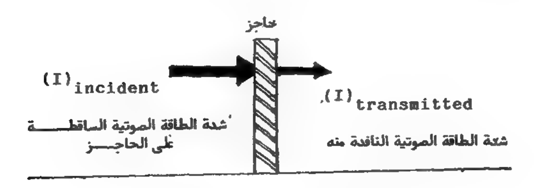
(Sound Transmission Coefficient)

والعلاقة بينه وبيـــن

معامل اختزال أو خفض الطاقة الصوتية (NR) لحاجز :

(Noise Reduction-by a Barrier)

معامل نفاذية الطاقة الصوتية لحاجز (ﭖ) يُعرّف بانه " النسبة بيـــن شدة الطاقة الصوتية التى نفذت خلال الحاجز من احد سطحيه $(I)_{transmitted}$ الى شدة الطاقة الصوتية التى سقطت عليه أصلا من جانبه الاخر .



تعريف معامـل النفاذيـــة ﭖ

شكل (٤_٣)

أى أن :

$$\tau = \frac{(I)_{transmitted}}{(I)_{incident}} \qquad (4-8)$$

لذلك فان ستارة رقيقة من القماش " مسامية " سوف تتصف بمعامل نفاذية كبير (يقرب من الوحدة) بينما جدار مبنى بالطوب بسمك ٣٠ سم (ولا يحتوى على أية شروخ) يتصف بمعامل نفاذية صغير جدا (حوالى ٢٠ر٠) — أما اذا كان الجدار يحتوى على شقوق نافذة (ربما تكون خافية عن البصر) فان معامل نفاذيته يصل ربما لقيمة ٨٠ر٠ ٠

مثال آخر : أى باب مفتوح معامل نفاذيته للصوت يقرب من الوحدة وفى حالة غلقه يصبح معامل نفاذيته ٠٥ر٠

مثال شائع آخر : غطاء موتور السيارة مُصمم بحيث يكون معامل نفاذيته لضوضاء محرك السيارة حوالى ١ر٠ فى حالة غلقه باحكام ٠ ولكن الوضع يختلف تماما اذا أُغلق باهمال ٠

مما سبق يتضح لنا أن كفاءة أى حاجز لعزل الضوضاء بين حيزين تتناسب عكسيا مع معامل نفاذيته للطاقة الصوتية ٠ وهذا هو الاساس لتعريف خصوصية

اخرى لاى حاجز وهى : معامل خفض الصوت أو معامل اختزال الصـــوت (NR) لحاجز ويُعرّف بالعلاقة التالية :

$$NR = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad dB \qquad (4-9)$$

مثـــال (٤ـ٤) :

أ ـ فاصل من الخشب الرقيق الحُبيبى معامل نفاذيته يساوى ٧٩ر٠ إحسب معامل خفضه للضوضاء ٠

ب ـ فاصل من الخشب الابلاكاش معامل نفاذيته يساوى ٦٣ر٠ احسب معامـــــل خفضه للضوضاء ٠

حـ ـ حاجز من الزجاج معامل نفاذيته يساوى ١٠ر٠ احسب معامل خفضـــــــه للضوضاء ٠

د ـ جدار من الطوب سمكه ١١ سم معامل نفاذيته ٠٠٠٣ر٠ احسب معامـــل خفضه للضوضاء ٠

الحـــــل :

باستخدام معادلة (4-9) لجميع الحالات المعطاه نجد أن :

(أ) فى حالة الفاصل المصنوع من الخشب الحبيبى الرقيق :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.79} = 1.02 \quad dB$$

وهذا القدرمن الخفض فى الضوضاء لاتستطيع الأذن ملاحظة حدوثه .

(ب) فى حالة الفاصل المصنوع من الخشب الأبلاكاش :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.63} = 2 \quad dB$$

وهذا القدر من الخفض فى الضوضاء تبدأ الأذن الاحساس بتواجده .

(جـ) فى حالة الحاجز المصنوع من الزجاج :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.10} = 10 \quad dB$$

وهذا قدر كاف بدرجة معقولة لعزل الضوضاء من مكان الى مكان آخـــــر . ولذلك يستخدم فى عمل واجهات المكاتب فى البنوك وغُرف الملاحظة فى المصانـع وفى المستشفيات . وكذلك فى بناء واجهات كبائن التليفون العمومى .

(د) فى حالة الجدار الطوبى :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.00003} = 45 \quad dB$$

ولذلك فهو يحافظ على سرية المساكن الخاصة والمباني الادارية العامة. وهـذا بشرط :

١ — ان يكون خلواً من اى شروخ او شقوق .

٢ — أى مكان توجد فيه انابيب توصيل المياه مثلا خلال هذا الجدار . أو أى فتحات خاصة بتركيب جهاز تكييف في هذا الجدار يجب ان يتم تقفيله تمامـا بمنتهى العناية والدقة .

تعيين معامل خفض الضوضـاء NR :

(أ) بطريقـة عمليـة :

نلاحظ من العلاقة التى تربط بين NR ، $\mathcal{T}$ أنها تؤدى الـى الحقيقة التالية :

$$NR = 10 \log \frac{1}{\mathcal{T}} = 10 \log \frac{1}{\left[\frac{(I)_{transmitted}}{(I)_{incident}} \right]}$$

$$NR = 10 \log \frac{\left(\frac{(I)_{incident}}{I_o} \right)}{\left(\frac{(I)_{transmitted}}{I_o} \right)}$$

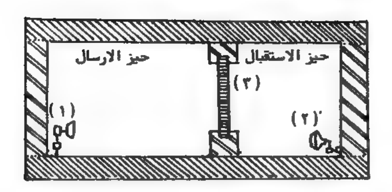
$$= (SIL)_{incident} - (SIL)_{transmitted}$$

$$= 20 \log \frac{\left(\frac{P_{incident}}{P_o} \right)}{\left(\frac{P_{transmitted}}{P_o} \right)}$$

$$= (SPL)_{incident} - (SPL)_{transmitted}$$

$$= L_{inc} - L_{trans.} = L_1 - L_2 \qquad (4-10)$$

وهذه العلاقة (4-10) هي الأساس لتعيين NR عمليا بتجارب بسيطة تُجرى باسلوب يشابه الموضح بشكل (٤-٣) - إذ يتم قياس L_1 في حيز الارسال أولا باستخدام اثنين من مكبرات الصوت وميكروفونات موضوعة عند اماكن متعددة داخلها لأخذ متوسط L_1 . ثم تُعاد القياسات بوضع الميكروفونات



(١) مجموعة ارسال مستوى ضوضاء معين بشريط ترددى محدد ٠

(٢) مجموعة استقبال لقياس مستوى الضوضاء في حيز الاستقبال بعد نفاذها خلال عينة الحاجز تحت الاختبار (٣) ٠

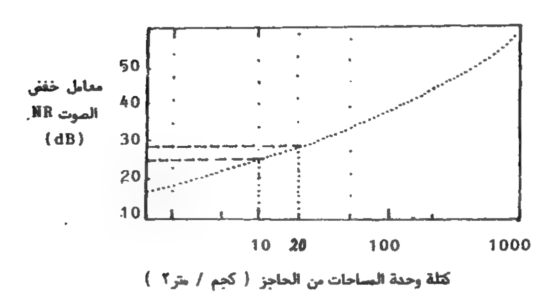
تعيين خفض الضوضاء باستخدام حاجز

شكل (٤ـ٣)

في غرفة الاستقبال (دون تغيير ضبط الاجهزة الكهربية عن ما كانت عليه في الجزء الاول من التجربة وبذلك يتم تعيين L_2 ٠ وكما هو موضح بالرسم فان حيز الارسال وحيز الاستقبال متلاصقين ويحيط بهما من كل جانب جدران سميكه وثقيله بدرجة كافية ويفصلهما جدار من نفس النوعية به فتحه تشابه النافذة الكبيرة يُركب عليها العينة من الحاجز المطلوب التعرف على خصائصه من ناحية قدرته على خفض الصوت ٠ وتؤخذ القياسات بالاسلوب المنوّه عنه ٠

ويجب أن نلاحظ هنا ان الفرق $(L_1 - L_2)$ الذى يتم تعيينه بهــذا الأسلوب يشمل تأثير الامتصاص الكلى A الذى يتصف به حيز الاستقبال بالنسبــة للطاقة الصوتية التى يتم لها النفاذ خلال العينّة • وأى فقد آخر يمكن ان يتواجــد فى هذا الحيز •

ولقد وُجد ان معامل خفض الضوضاء (NR) يعتمد على العوامل التالية :



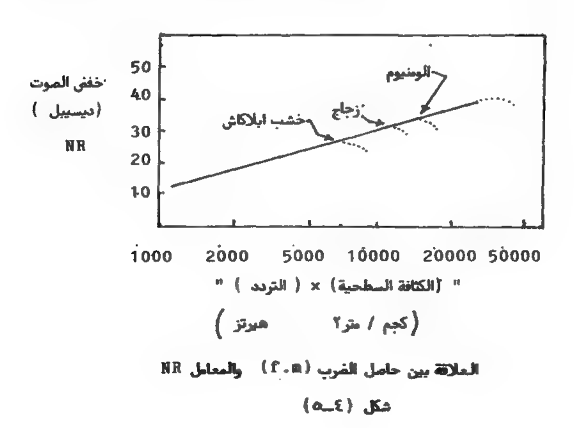
العلاقة بين معامل خفض الصوت والكثافــــــــة السطحيــة للحاجــــز

شكل (٤ـ٤)

١ ـ كتلة وحدة المساحات (m) من الحاجز ويوضح شكل (٤ـ٤) هـــــذه الحقيقة • حيث يلاحظ ان زيادة (m) بمقدار الضعف تؤدى الـــــى زيادة (NR) بحوالى ٥ ديسيبل •

٢ ـ القيمة الوسطية للشريحة الترددية (f هيرتز) من طيف الضوضــــاء المتجهة ناحية الحاجز • وفى شكل (٤ـ٥) تُعطى المنحنيات التى تمثـــل العلاقة :

$$NR = 20 \log (f.m) - 47 \quad dB \qquad (4-11)$$



العلاقة بين حاصل الضرب (f.m) والمعامل NR

شكل (٤ـ٥)

وهنا ايضا كلما يزيد التردد (f) بمقدار الضعف فان (NR) تزيد بحوالي ٥ ديسيبل ٠

٣ ـ قدرة المواد المكونة للحاجز على "خمد" الطاقة الصوتية ـ او امتصاصها جزئيا ٠

٤ ـ طبيعة حافة الحاجز ٠

٥ ـ طبيعة سطحية الحاجز وهل مغطى بطبقات ملساء او ستائر مثلا ٠

مثـــال (٤ـ٥) :

سور مدرسة مساحته الكلية ٤٠ متر٢ عبارة عن جدار مبني بالطوب ($\tau = 0.00003$) ويشتمل على باب خشبي ($\tau = 0.7$) مساحته ٨ متر٢ وشباك زجاجي لغرفة الحارس ($\tau = 0.1$) مساحته ٠٫٧٥ متر٢ ٠ احسب NR لهذا السور ٠

الحـــل :

حيث ان الحاجز يتكون من ثلاث أجزاء مختلفة المواد علينا أولا أن نحسب معامل النفاذية المتوسط لهذا السور (τ) وذلك بان نجمع حاصل ضرب مساحة كل جزء (S_i) في معامل النفاذية الخاص بهذا الجزء (τ_i) ثم نقسم الناتج على المساحة الكلية للسور (S) أى أن :

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \tau_3 S_3}{S} \qquad (4\text{-}12)$$

$$= \frac{(0.0003 \times 35.25) + (0.7 \times 8) + (0.1 \times 0.75)}{40}$$

$$= 0.142$$

$$\therefore \quad NR = 10 \log \frac{1}{0.142} = 8.5 \quad dB$$

ثانيا : الطريقة الحسابية لتعيين NR :

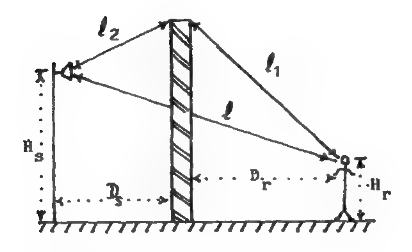
هذه الطريقة تعتمد على الأبعاد الهندسية للحاجز والمسافات بينه وبين كل من المصدر والمستمع ولكنها لاتأخذ طبيعة المادة الصلبة المصنوع منها الحاجز في الاعتبار ٠ ولكنها تؤدى الى نتائج مقبولة بحيث تكفى لأن يعتمد عليها المهندس المعمارى أو المهندس الانشائى فى تصميم وتنفيذ الحوائط والجدران المفروض تواجدها في مشروع من المشروعات المرتبطة باعمال التشييد والبناء ٠

وتتلخص هذه الطريقة في تحديد كل من :

— ارتفاع الحاجز (barrier) عن سطح الارض ٠ ولنرمز له بالرمز H_b

— ارتفاع المصدر (Sound Source) " " " H_s

- ارتفاع المستمع (receiver) . . . . . . H_r
- بُعد المتلقى عن الحاجز . . . . D_r
- بُعد المصدر عن الحاجز . . . . D_s



الابعاد اللازمة لحساب عدد فرنل N لحاجز

شكل (٤ـ٦)

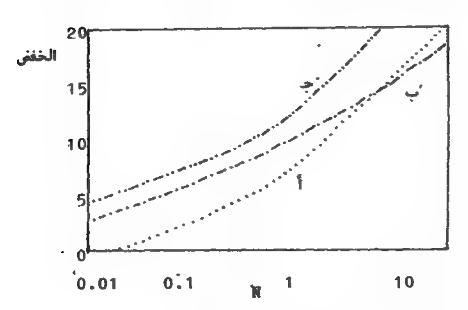
وبمعلومية هذه الابعاد يتم حساب ما يعرف بعدد فرنـــــــل N (Fresnel Number) وذلك باستخدام العلاقة التالية :

$$N = \frac{2\ \delta}{\lambda} \qquad (4\text{-}13)$$

حيث λ الطول الموجي للطاقة الصوتية ، بينما δ هي الفرق بين المسار من المنبع للمستمع عن طريق حافة الجدار والمسار " البصرى " المباشر من المنبـع الى المستمع مخترقا الحاجز أى أن هذا الفرق δ عبارة عن :

$$\delta = (l_1 + l_2) - l \tag{4-14}$$

والشكل التالى يعطى المنحنيات الثلاث التى تم بنائها والتى تربط بين قيم أعـــــداد فرنل والقيم المقابلة لخفض الضوضاء :



أ ـ مصدر مفرد ملاصق لسطح الارض .

ب ـ مصادر متعددة يوالى بعضها البعض فى مسار واحد

جـ ـ مصدر مفرد مرتفع عن سطح الارض .

خفض الضوضاء كدالة لعدد فرنـــــل

شكل (٤ـ٧)

مثـــال (٤ـ٦) :

ماسورة العادم لاحد السيارات ينبعث منها ضوضاء طيفه كالموضح فى الجـــدول التالى وذلك بالنسبة لاحد الاشخاص الموجود على بعد ٥ر٢٢ متر من السيــــــــارة بدون اى عائق بينهما ٠

التـردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
مستوى الضوضاء	٦١	٥٧	٥٧	٥٦	٥٥	٤٦

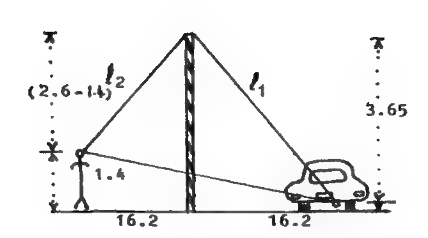
احسب قيم هذه المستويات لوْ حَدث أن هنالك سور طويل سمكه ١٠ سم فـــى منتصف المسافة بين هذه السيارة وهذا الشخص ٠ كذلك احسب الفرق بين متوســـط مستوى الضوضاء في الحالتين ٠ علما بأن :

ارتفاع فوهة ماسورة العادم = ٣٥و٠ متر

ارتفاع الشخص = ٤و١ متر

ارتفاع السور = ٠و٤ متر

الحـــل :



$$1 = \sqrt{(3.65)^2 + (16.2)^2} = 16.6 \quad m$$

$$2 = \sqrt{(2.6)^2 + (16.2)^2} = 16.4 \quad m$$

$$= \sqrt{(1.05)^2 + (32.5)^2} = 32.5 \quad m$$

$$\therefore \; 8 = 33 - 32.5 = 0.5$$

ثم نحسب λ بمعلومية $(v = 340\ m/s)$ والتردد كما هـــو معطى بالجدول عاليه • وبذلك نحصل على قيم عدد فرنل تبعا للعلاقـــة $(N = 2\delta/\lambda)$ • وباستخدام شكل (٤-٧) نحصل على قيـــم خفض الضوضاء المقابلة لها • والجدول التالى يلخص هذه النتائج :

التـــردد (هيرتز)	عـدد فرنل N	الخفض في الضوضاء dB	مستوى الضوضاء الناتج dB
١٢٥	٠ر٣٦٨	٩ر٠	٦١ ـ ٩ = ٥٢
٢٥٠	٠ر٧٣٥	١٠ر٠	٥٧ ـ ١٠ = ٤٧
٥٠٠	١ر٤٧١	١٢ر٥	٥٧ ـ ١٢ر٥ = ٤٤ر٥
١٠٠٠	٢ر٩٤١	١٥ر٥	٥٦ ـ ١٥ر٥ = ٤٠ر٥
٢٠٠٠	٥ر٨٨٠	١٩ر٠	٥٥ ـ ١٩ = ٣٦
٤٠٠٠	١١ر٧٦٠	٢٣ر٠	٤٦ ـ ٢٣ = ٢٣

أما بالنسبة لحساب المتوسط فالجدول التالي يلخص هذه النتائج مع ملاحظـــة أنه بمعرفة مستوى الضوضاء L نحسب $(\log I/I_0)$ وهي عبـــارة عن $(L/10)$ • ثم نعين I/I_0 المقابلة وبعد ذلك نحسب متوســـط

(I/I_o) ومنها تحسب متوسط L :

حساب متوسط L للمستويات الاصلية فى حالة عدم وجود الحاجز فــــى طريق الضوضاء المتجهه الى المستمع

I/I_o	$\log I/I_o$	sIL
١٢٥٨٩٨٥٫٤	٦٫١	٦١
٥٠١١٨٧٫٢	٥٫٧	٥٧
٥٠١١٨٧٫٢	٥٫٧	٥٧
٣٩٨١٠٧٫٢	٥٫٦	٥٦
٣١٦٢٢٨٫٠	٥٫٥	٥٥
٣٩٨١١٫٠	٤٫٦	٤٦

اذا متوسط (I/I_o) = $\frac{٢٧٩٩٢١٨}{٦}$ = ٤٤٩٨٦٩٫٧

∴ متوسط مستوى الضوضاء بدون تواجد الحاجز = ٥٦٫٥ ديسيبل .

وبالنسبة لمتوسط L مع تواجد الحاجز فلدينا :

I/I_o	$\log I/I_o$	SIL
١٥٨٤٨٩ر٣	٥ر٢	٥٢ر٠
٥٠١١٨ر٧	٤ر٧	٤٧ر٠
٢٨١٨٣ر٨	٤ر٤٥	٤٤ر٥
١١٢٢٠ر١	٤ر٠٥	٤٠ر٥
٣٩٨١ر١	٣ر٦	٣٦ر٠
١٩٩ر٥	٢ر٣	٢٣ر٠

إذاً متوسط (I/I_o) = $\frac{٢٥٢١٩٢ر٥}{٦}$ = ٤٢٠٣٢

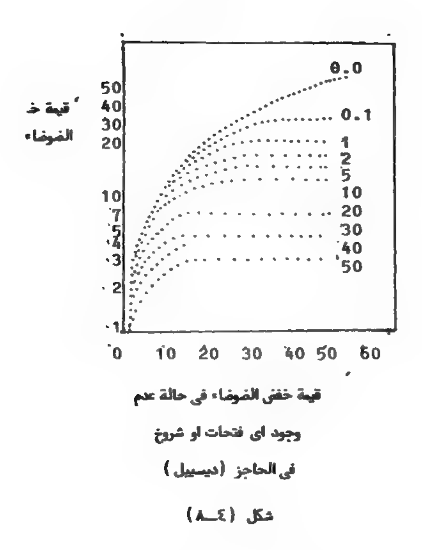
∴ متوسط مستوى الضوضاء مع تواجد الحاجز فى طريقها للمستمع = ٤٦ ديسيبل .

أى أن الخفض الذى نتج لاعتراض الحاجز الطاقة الصوتية = ١٠ر٥ ديسيبل .

ملحوظة : للتعرف على الفرق فى كفاءة نوعيات مختلفة (وشائعة الاستعمال) مـن الحواجز فى خفض الضوضاء راجع جدول (٤ـ ٧) ٠

مسلسل	طبيعة الحاجز	NR (dB)
١	حائط مزدوج عبارة عن طبقة ٥ سم وطبقة ثانية ٥ سم ايضا وبينهما طبقة هواء سمكها ١٠ سم ٠	٦٥
٢	حائط خرسانى مُعاد التقوية (٣٠ سم)	٥٦
٣	حائط خرسانى (١٥ سم)	٤٢
٤	حائط مبنى بالطوب (١٠ سم)	٤١
٥	لوح صلب (٦ر٠ سم)	٣٦
٦	لوح خشب ابلاكاش (٩ر١ سم)	٢٨
٧	لوح زجاج (٦ر٠ سم)	٢٦

بينما المنحنيات الموضحة فى شكل (٤ـ٨) تُعطى نتيجة النقص فى هـــذه الكفاءة لخفض حاجز للضوضاء إذا احتوى على نسبة معينة من مساحته الكلية فى صـورة شروخ وفتحات ـ وعلى سبيل المثال المنحنى المشار اليه بنسبة (صفر فى المائة "٥٠٥")



قيمة خفض الضوضاء فى حالة عدم
وجود اى فتحات او شروخ
فى الحاجز (ديسيبل)

شكل (٤ـ٨)

يبين لنا انه اذا كان حاجز ما NR له تساوى ٤٠ ديسيبل فى حالة خلوه من الفتحات او الشقوق فان هذا الحاجز يصبح NR له ٣٫٥ ديسيبل فقط اذا احتوى على فتحات او شقوق مجموع مساحاتها ٥٠ فى المائة من مساحة الحاجز الكلية ٠

مثـــال (٤ـ٧) :

حاجز مساحته الكلية ٤٥ متر٢ يتكون من جدار ٤٢ متر٢ ومعامل خفـــض الضوضاء له (وليس معامل النفاذية τ) NR = ٤١ ديسيبل ـ وبـــاب مساحته ٦ر١ متر٢ ومعامل خفض الضوضاء له ٣١ ديسيبل ـ ونافذة مساحتهـــا ٤ر٠ متر٢ ومعامل خفض الضوضاء لها ٢٧ ديسيبل • احسب معامل خفض الضوضاء الفعلي لهذا الحاجز •

الحـــل :

بالنسبة للجدار :

$$\tau_1 = 1 / [\text{Antilog } \frac{41}{10}] = 0.000079$$

وبالنسبة للباب

$$\tau_2 = 1 / [\text{ Antilog } \frac{31}{10}] = 0.000794$$

وبالنسبة للنافذة :

$$\tau_3 = 1 / [\text{ Antilog } \frac{27}{10}] = 0.001995$$

وعلى ذلك :

$$J = \frac{[(0.000079x43) + (0.000794x1.6)+(0.001995x0.4)]}{45}$$

$$= 0.000122$$

إذاً معامل خفض الضوضاء الفعلى $(NR)_{eff.}$ للحاجز عبارة عن :

$$(NR)_{eff.} = 10 \log \left(\frac{1}{0.000122} \right) = 39.1 \text{ dB}$$

ملحوظة :

يمكن بنفس الأسلوب أن نتبين أن فتحة صغيرة بأبعاد (٥ر٢سم × ٥ر٢ سم) في جدار من الطوب معامل خفض الضوضاء NR له يساوى ٥٠ ديسيبل تجعلـــه يقل الى قيمة ٤٠ ديسيبل — بفرض أن مساحة الجدار (٤ر٢ متر × ٤ر٢ متر) .

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الخامـــــس

التحكم فى مستويات الضوضاء داخل المبانـــى

بالنسبة للتحكم فى مستويات الضوضاء داخل المبانى فانها عملية المفـــروض ان ترافق كلا من المراحل الخاصة بالمبنى بداية من اختيار الموقع المراد تشييـــد المبنى عليه ثم مرحلة تصميمه ثم مرحلة بنائه ثم مرحلة التشطيبات المعمارية . وبعد ذلك متابعة عمليات الصيانة الدورية الواجب اجرائها لكل مبنى . ويمكن تلخيص ذلك فيما يلى :

١ ـ اختيار الموقـــع :

- تحاشى اقامة مستشفى او مدرسة او مبنى سكنى بالقرب من منطقـــة صناعية أو حتى بالقرب من احد المصانع .
- تحاشى اقامة مثل هذه المبانى (مستشفى .....) بالقرب مـــن الطريق العام أو بالقرب من خطوط السكك الحديديةأو بالقرب مـــن المطارات لتجنب الازعاج اثناء عمليات الاقلاع والهبوط .

٢ ـ تصميم المبنى :

مثل هذا الاختيار للموقع إن لم يكن ممكنا لنُدرة الأراضي الشاغرة والمتاحة لعمليات البناء سوف يضطر المهندس المسئول عن تصميم المبنى أن يتجه بهذا التصميم ـ منذ البداية ـ بما يحقق حماية المبنى من تَسلُّل الجزء الاكبر من الضوضاء الخارجية الى داخل المبنى، وكذلك حماية جزء من المبنى من الضوضاء الصادرة من جزء آخر من نفس المبنى • فيبدأ مثلا في تصميم اتجاه المبنى بما يحقق وسيلة مفيدة لانقاص مشاكل الضوضاء • ثم يقوم استخدام مساحات المبنى الغير حساسة بالنسبة للضوضاء كدرع للمساحات الاكثر حساسية من التعرض المباشر لمصادر الضوضاء • فمثلا :

- عَزْل فصول الدراسة بمعهد علمي عن الطريق العام أو مسار القطارات بساحة النشاط الرياضي بالمعهد • وأن تُحاط هذه الساحة بسور عال مبني بالطوب •
- وضْع اماكن التحميل في الموانيء والمطارات على الناحية التي تتميز بضوضاء اكثر ووضع المكاتب الادارية وما شابهها على الناحية الاكثر هدوءا •

٣ ـ مرحلتي التشييد والتشطيبات المعمارية :

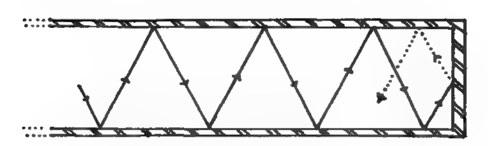
مرة اخرى منذ البداية يجب على المهندس المسئول عن تشييد المبنى

ان يكون على دراية كافية بمستويات ضغط الصوت في المنطقة المحيطة بموقع المبنى وعلى اساس هذه الدراية يقرر ماهو أصلح بالنسبة الى :

- طبيعة الجدران والحواجز التى تفصل بين مكونات المبنى بعضها عن بعض ٠
- معاملة منابع الذبذبات والضوضاء داخل المبنى مثل المصعد ومجموعته الكهربائية وقنوات التهوية ووحدات التكييف وكذلك مواسير السباكة ٠ كل هذه المنابع يراعى فى تركيبها مايضمن خفض الضوضاء الصادرة من كل منها الى ادنى مستوى اذ أنها قد تكون مصدر ازعاج لجميع شاغلى المبنى (راجع صفحة (٩٩)) ٠
- يراعى فى اختيار نِسَب ابعاد الغرف والطرقات والكمرات الخرسانية مما يضمن تحاشى حدوث ما يأتىعلى سبيل المثال :

  ١ صدى محدد للصوت يتميز بوصوله الى أذن المستمع بفترة زمنية كافية بعد سماعها للصوت المباشر ويُعتبر صورة متأخرة للصوت المباشر ٠ هذه الفترة الزمنية تكون فى حدود ٦٠ر٠ ثانية أو اكثر وهى كافية ان يعبُر الصوت مسافة في الهواء حوالى ٢١ مترا ٠ ولذلك اى جدار عاكس للصوت مُواجه لمصدره وعلى بعد اكبر من ١١ متر يُنتج هذه النوعية من صدى الصوت ٠

  ٠ صدى على هيئة صفير وهو ناتج من انعكاسات متعددة (شكل (٥ـ١)) للصوت سريعة ومحددة نتيجة انعكاس الصوت



انتشار الصوت مصحوب بصفير
نتيجة تعدد انعكاسه داخل طرقه

شكل (٥ـ١)

من اسطح متوازية قريبة من بعضها • ولكن نتيجة سرعة تتابعها يَصعُب الحكم بأنها صور للصوت المباشر ـ مثلما يحدث فى بعض الطرقات العالية السقف (راجع صفحة (   )) • والتى تتميز باتساع حوالى ٦ متر أو اكثر •

- الاهتمام بدرجة كبيرة فى مرحلة التشطيبات المعمارية بكل من تركيب و " تقفيل " النوافذ والابواب وكذلك جميع المواسير الخاصة بالمياه والصرف الصحى • اذ أن تواجد اى منفذ للهواء بجدران المبنى هو منفذ للضوضاء (راجع مثال (٤ ـ ٧)) •
- جَعْل سُمك جدران المبنى المواجهه للطريق العام اكبر من سمك الجدران الداخلية له • وكذلك انتقاء طبيعة الطبقات المغطية لواجهة المبنى بما

يحقق متطلبات الديكور المعماري وفي نفس الوقت تحمُّلها للتقلبات الجوية مـع كفاءتها في عزل الضوضاء ٠

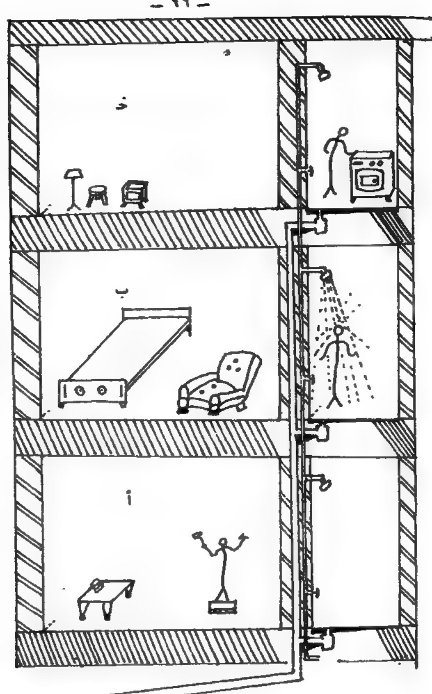
- يراعَى في البناء الداخلي للغرف نفس العناية من ناحية عدم وجود أيـــة شقوق في الجدران والأرضيات حتى لايتسرب الصوت من غرفة الى اخرى بيـن الوحدات السكنية المتجاورة في نفس المبنى ٠ وفي شكل (٥ـ٢) يتضـح تأثير وجود أي منافذ مما ذكر عاليه ٠

هذه الخطوات السالف الاشارة اليها كمحاولة للتحكم في الضوضاء داخل المبنى مطلوبة حتى يتسنى الوصول للوضع الأمثل بالنسبة لكفاءة أجزاء المبنى صوتيا بمعنى:

— إذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن احدى الغرف فيتسنى لمن فيهـا التحدث والاستماع بطريقة طبيعية وغيرمرهقة ولايتسرب من هذا الحديـث اى شيء لخارجها (مثال مهم هو حجرة الكشف الطبي في العيادات سـواء الخاصة او العامة ٠

مثال آخر : حجرة اجتماعات مجلس ادارة شركة ٠٠ وهكذا) ٠

— إذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن مدرج لاستماع محاضرة (راجـع مثال (٦ ـ)) فيتسنى للحاضرين تلقِّي كل كلمة من الشخص المحاضر بكـل الوضوح بصرف النظر عن مكان المتلقي داخل المدرج ـ لذلك يراعى في مثـل هذه الاحوال بعض الاعتبارات الخاصة مثل عدم استخدام اعمدة خرسانيـة



مصادر ومسارات ضوضاء شائعة داخل المباني السكنية عن طريق الجدران والارضيات الفاصلة بين الوحدات السكنية وكذلك عن طريق مواسير المياه ومواسير الصرف الصحي .

- الوحدة السكنية أ ينبعث منها ضوضاء الى الوحدتين ب ، حـ عن طريق الجدران (الضوضاء الناتجة من محاولة تثبيت مسمار وكذلك ضوضاء لعبة الطفل) .
- الوحدة السكنية ب ينبعث منها ضوضاء نتيجة مياه الحمام وسريانها في المواسير بجانب انتقال ضوضاء خبط الارضية .
- الوحدة السكنية حـ ينبعث منها ضوضاء نتيجة تشغيل ماكينة غسل الملابس .

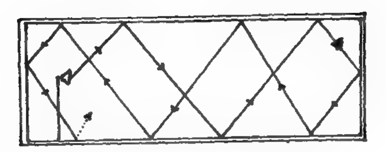
شكل (٥-٢)

حاملة فى وسط القاعة ٠

ـ اذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن قاعة لسماع الموسيقى او مسرح مثـــلا يراعى ان يتحقق للمستمعين جميعا الاستمتاع لاقصى درجة بما يقدم فيهـــا ٠ فلا يكون هناك مناطق يتركز فيها الصوت بينما يخفُت بدرجة غير مستحبة فـــى مناطق أخرى ٠

ويجب ان تتكامل تلك الخطوات بخطوات اخرى مرتبطة بأهم ميزة صوتيـــة يتصف بها اى حيز او غرفة وهى المعروفة " بزمن ارتداد الصوت " فى هذا الحيـــز او هذه الغرفة ٠

ويسّهل فهم المقصود بارتداد الصوت "Sound Reverberation" بتشبيه انتشار الطاقة الصوتية من منبعها داخل الغرفة بنمط مسارات الاشعـــة الضوئية ٠ ففى كل مرة تصطدم فيها " الاشعة " الصوتية بحدود الغرفة (او اى سطح يعترض مسارها) فانها ترتد جزئيا تجاه المجال الصوتى للغرفة ٠ بينمـــا يحدث للجزء الآخر من هذه " الاشعة " امتصاص داخل الجدران أو الاجسام التـى اعترضتها اثناء مساراتها داخل الغرفة (راجع شكل (٥ـ٣)) ونتيجة توالـــى تلك الانعكاسات مع استمرار المنبع فى اصدار الصوت فان طاقة المجال الصوتى فـــى الغرفة يحدث لها بناء تدريجى فيعلوُ مستواها شيئا فشيئا الى ان يتساوى الفقـــد



الانعكاسات المتتالية للصوت داخل حيز

شكل (٥-٣)

نتيجة الامتصاص (وكذلك نتيجة أي تسرب للصوت خارج الغرفة) مع ما يكتسب نتيجة تزويد منبع الصوت • عندئذ يمكن اعتبار مستوى الطاقة الصوتية " الارتدادية " (L_r ديسيبل) متجانس عند أي نقطة في أرجاء الغرفة وغير معتمد على بُعدها عن المنبع (بعكس الصوت المباشر الذي يعتمد على البعد r) إذ أن جميع اتجاهات انتشار الطاقة الصوتية داخل الغرفة أصبحت متساوية الاحتمال •

ولنحاول الآن رؤية ماذا يحدث عند توقف المصدر :

عند أي لحظة يتوقف فيها مصدر الصوت عن اطلاق الطاقة الصوتية فان انعكاساتها المشار اليها تستمر في توالي ارتدادها ولكن تضعُف شدتها شيئاً فشيئاً الى أن يختفي الصوت تماما •

هذه الإطالة فى الصوت المسموع بعد توقف مصدره هى ما يقصد بهـــــا " ارتداد الصوت " وقد صاغ العالم سَابين عام ١٨٦٥ التعريف التالى لزمن ارتـداد الغرفة :

زمن ارتداد الصوت لغرفة أو حيز (T_r أو T_{60}) :

هو الفترة الزمنية بالثوانى اللازمة لكى ينخفض مستوى الصوت (L_p) - عنـــد لحظة توقف المصدر- بمقدار ٦٠ ديسيبل ، اى انه الزمن اللازم لكى تنقص شـــدة الصوت (I_r) -عند لحظة توقف المصدر- الى أن تصبح ($10^{-6}\ I_r$) .

ولقد توصل العالم سابين الى العلاقة الأولية التالية نتيجة تجاربه التـــى أجراها فى محاولة " لتحسين " الخصائص الصوتية لاحد قاعات الأوبرا

$$T_r = \frac{0.16\ A_t}{V} \quad sec \qquad (5-1)$$

حيث :

V = حجم الغرفة (متر٣) .

A_t = مجموع الامتصاص للطاقة الصوتية داخل الغرفة نتيجة الجدران وأى مُسطحات اخرى داخل حيزها . وهذا يُقدر بوحدات تسمـــى " سابين المِترى " حيث اختيرت هذه الوحدة لتعبر عن "امتصاص "

الطاقة الصوتية الناتج من توجيهها ناحية نافذة مفتوحة مساحتها واحـــد
متر مربع (بديهي كل مايصل هذه النافذة من طاقة صوتية لايرتد منــه
شيئا و " يُمتص " جميعه الى الناحية الأخرى من النافذة بنسبة مائـة
في المائة) .

وقد سبق الاشارة الى ان " معامل الامتصاص α " للطاقة الصوتيـــة
لأى مادة عبارة عن :

$$\alpha = \frac{\left[\text{الطاقة الصوتية التي تُمتص داخل سطح المادة وتتحول الى طاقة حرارية}\right]}{\left[\text{الطاقة الصوتية الساقطة على السطح}\right]} \qquad (5-2)$$

إذاً مجموع الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية داخل الغرفة A_t :

$$A_t = \sum_i \alpha_i S_i = \quad , S \qquad (5-3)$$

لأنّ القيمة المتوسطة $\bar{\alpha}$ لمعامل امتصاص الطاقة الصوتية داخل الغرفة مـــن
التعريف عبارة عن :

$$= \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

$$= \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S} \qquad (5-4)$$

حيث :

S_i = مساحة السطح الذى رُمز له بالرمز i مما تشغله الغرفة من جدار أو اجسام .

α_i = معامل امتصاص مادة السطح i .

S = المساحة الكلية للجدران و " الاجسام " داخل الغرفة (بما فيها من أشخاص) .

n = العدد الكلى للاسطح داخل الغرفة التى يحدث عندها جزئيات الامتصاص للطاقة الصوتية .

استنتاج معادلة سابين : (Sabine's Formula)

من معادلة (5-2) نلاحظ أن المعنى الفيزيائى للمعامل المتوسط $\bar{\alpha}$ يُوضّح أنه فى كل مرة تصطدم طاقة صوتية مقدارها E بجميع العوائق داخل الغرفة يحدث امتصاص لجزء منها يساوى $(\bar{\alpha} E)$ بينما يرتد الجزء الباقى

وهو $[E(1-\bar{\alpha})]$ داخل المجال الصوتي في الغرفة .

ولقد سبق أن رأينا ان ضغط الصوت (P) يتناسب مع الجذر التربيعي لشدة الصوت (I) ـ معادلة (2-13) ـ معنى ذلك أن :

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{\left[\text{ضغط الصوت المنعكس او المرتد}\right]}{\left[\text{ضغط الصوت الساقط}\right]} = \sqrt{\frac{E(1-\bar{\alpha})}{E}}$$

$$\therefore \frac{P_r^2}{P_i^2} = (1-\bar{\alpha})$$

إذاً يصاحب كلا من الانعكاسات المتتالية انخفاض لمستوى الصوت عبارة عن : (Sound Reduction per reflection, S.R.P.R.)-

$$S.R.P.R. = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_r} = 10 \log \frac{P_i^2}{P_r^2}$$

$$= 10 \log \left[\frac{1}{1-\bar{\alpha}} \right] \quad dB \qquad (5-5)$$

واذا رمزنا لعدد الانعكاسات التي تحدث خلال ثانية واحدة بالرمز (N_r)

يكون لدينا :

$$N_r = \frac{\left[\text{مجموع المسافات التى تغطيها المسارات الصوتية فى الثانية الواحدة – اى سرعة الصوت فى الهواء}\right]}{\left[\text{متوسط المسافة بين انعكاسين متتاليين – اى متوسط المسار الحر للطاقة الصوتية (mfp)}\right]} \qquad (5-6)$$

حيث يعرف المتوسط الحر للمسارات (mfp) بالعلاقة :

$$\frac{\left[\text{اربع امثال حجم الغرفة (V)}\right]}{\left[\text{مجموع المساحات المعرضة للصوت (S)}\right]} = mfp$$

$$\therefore \quad N_r = \frac{vS}{4V} \qquad (5-7)$$

ومعنى ذلك ان معدل تلاشي الطاقة الصوتية المتعددة الانعكاس (Sound Decay Rate) بعد توقف المنبع يكون مساويا لحاصل ضرب (N_r) فى (S.R.P.R.) :

$$\therefore \text{ Decay Rate of Reverberent Sound} = (N_r).(\text{S.R.P.R.})$$

$$= \left(\frac{vS}{4V}\right) . \left[10 \log \left(\frac{1}{1-\bar{\alpha}}\right) \right] \text{ dB/Sec.} \qquad (5-8)$$

وهذا معناه بالتالى أن زمن الارتداد (T_{60} أو T_r) — وهـــو الزمن اللازم لكى ينخفض مستوى الصوت المتعدد الانعكاس بمقدار ٦٠ ديسيبل بعـد توقف مصدره — يكون عبارة عن حاصل قسمة هذا القدر من الانخفاض فى مستـــوى الصوت (٦٠ ديسيبل) على معدل تلاشي الطاقة الصوتية (Decay Rate):

$$\therefore \; T_r = T_{60} = 60 \; / \; \left[\left(\frac{vS}{4V}\right) \, . \, \left(10 \log \frac{1}{1 - \bar{\alpha}}\right) \right]$$

$$\therefore \; T_r = T_{60} = \frac{4 \times 60 \times V}{(S.v).\left(10 \log \frac{1}{1 - \bar{\alpha}}\right)} \qquad (5\text{-}9)$$

وهذه العلاقة تنسب الى العالم أيرنج (Eyring) . وتختزل الى صورة مبسطة فى حالة صغر المعامل $\bar{\alpha}$ بالنسبة للواحد الصحيح (أو أقل مثلا) بتطبيـــق نظرية ذات الحدين لتصبح :

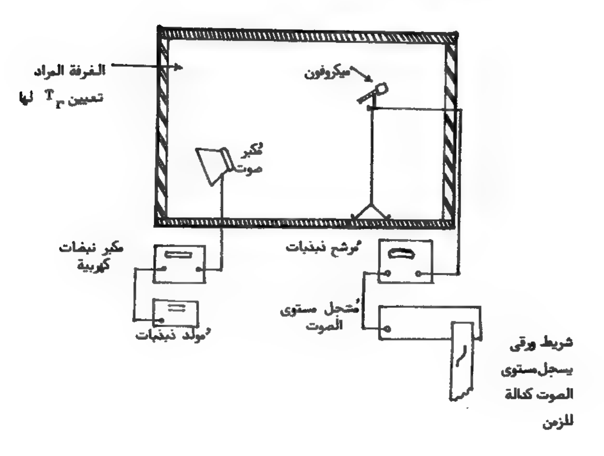
$$T_r = T_{60} = \frac{4 \times 60 \times V}{S \, . \, v \, . \bar{\alpha}} \qquad (5\text{-}10)$$

وبالتعويض عن سرعة الصوت v بقيمتها (٣٣٤ متر / ثانية) وكذلك حاصل الضرب ($S.\bar{\alpha}$) بما يساويه وهو A_t :

$$\therefore \; T_r = T_{60} = \frac{0.16 \; V}{A_t} \qquad (5\text{-}11)$$

وهى معادلة سابين .

تعيين زمن الارتداد (T_{60} أو T_r) لغرفة عمليا :



رسم توضيحـــى

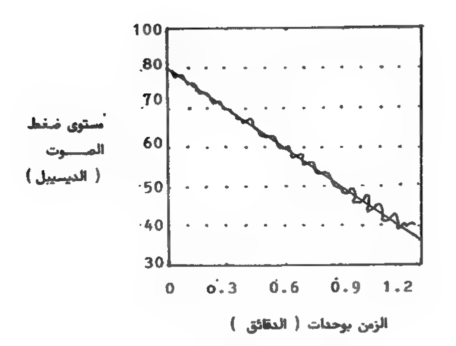
لمجموعة الجهاز المستخدم فى تعيين زمن الارتداد لغرفة

شكل (٥ـ٤)

بتهيئة مجموعة من الأجهزة بالاسلوب الموضح بشكل (٥ـ٤) يمكن تعيين T_r وهى تضم مايلى :

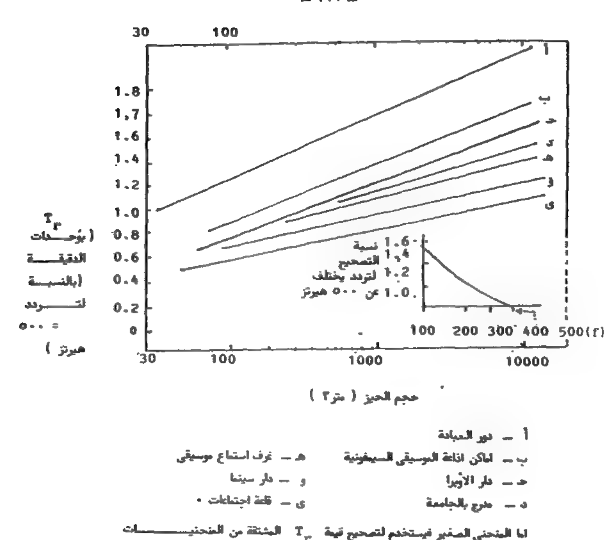
- مكبر صوتى متجه ناحية أحد جدران الغرفة المراد تعيين T_r لها ٠
- ميكروفون موجّه لالتقاط الاصوات المنعكسة دون الصوت المباشر ٠
- مولّد ذبذبات لتغذية مكبر الصوت عن طريق مكبر نبضات كهربية ٠
- مرشح ذبذبات كهربى ٠
- مسجل نبضات تتناسب سعاتها مع مستوى الصوت الذى يلتقطه الميكروفون مزوّد بشريط ورقى ملفوف على بكرة تُدار كهربيا بسرعة معينة منتقاه تبعا لظروف التجربة ٠ وبذلك يتم تسجيل مستوى الصوت كدالة للزمن ومن ثَم معرفة معدل انخفاض مستواه وبالتالى حساب T_r (راجع مثال (٥ ـ ١)) ـ ويوضح شكل (٥ـ٥) نموذج للمنحنى الذى ينتج فى مثل هذه التجارب ٠

ولقد أوضحت القياسات المختلفة على النمط المذكور اعلاه ان أنسب قيم لزمن الارتداد (T_r) لنوعيات مختلفة من الاماكن المغلقة التى تستخدم لاغراض متباينة ـ مثل دور العبادة واماكن التدريس ٠٠٠ الخ تتبع المنحنيات الموضحة بشكل (٥ـ٦) ٠



نموذج لانخفاض مستوى الصوت الارتدادى

شكل (٥ـ٥)



أ ــ دور العبادة

ب ــ اماكن اذاعة الموسيقى السيمفونية	هـ ــ غرف استماع موسيقى
حـ ــ دار الأوبرا	و ــ دار سينما
د ــ مدرج بالجامعة	ى ــ قاعة اجتماعات ٠

اما المنحنى الصغير فيستخدم لتصحيح قيمة T_r المشتقة من المنحنيـــــــــات (أ و ب و حـ و د و هـ و ى) فى حالة ان f يختلف عن ٥٠٠ هيرتز ٠

شكل (٥ـ٦)

تعيين معامل امتصاص الطاقة الصوتية (α) للمواد المستخدمة فى المعالجـــات الصوتيـــة :

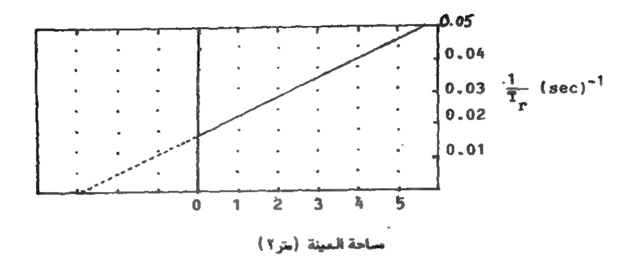
هنا يتم باستخدام نفس الجهاز المستخدم لتعيين زمن ارتداد الصوت لغرفـــة (T_r) وذلك بان تُزود الغرفة بنافذة يمكن التحكم فى مساحة فتحتها تدريجيـــا • ثم تُجرى الخطوات التالية :

- يتم تعيين T_r للغرفة بعد وضع العينة من السطح المراد تعيين لمادته داخلها • ولنفرض ان مساحة العينة A_{sp} •
- يتم اخراج هذه العينة من الغرفة ثم تُضبط مساحة فتحة النافذة حتى تصبـــح قيمة T_r هى نفس القيمة فى الخطوة السابقة اثناء تواجد العينة داخـــل الغرفة • ولنفرض ان مساحة فتحة النافذة التى حققت ذلك هـــى A_{op} فيكون لدينا :

(مساحة فتحة النافذة) • (واحد صحيح) = (مساحة سطح العينة) • α

$$\therefore \quad \alpha = \frac{A_{op}}{A_{sp}} \qquad (5-12)$$

ملحوظة : باستخدام عدة مسطحات من نفس المادة المراد تعيين α لها يتـــم تعيين قيم مختلفة لزمن الارتداد T_r لنفس الغرفة ويرسم منحنى كالمبين فـــى



تعيين لعينة واستنتاج مساحة العينة التى تكافىء
الامتصاص الطبيعى لجدران الغرفة التى تمت بها القياسات

شكل (٥ـ٧)

شكل (٥ـ٧) بين $(1 / T_r)$ ومساحة سطح العينة حيث يكون المنحنى على هيئة خط مستقيم تبعا لمعادلة سابين • ويلاحظ ان الخط المستقيم يقابل المحور الافقى عند نقطة تقابل مساحة عينة مكافئة للامتصاص الطبيعى لجدران الغرفة •

والجدول التالى يعطى لبعض النماذج التى تُقابَل فى صوتيات المبانى قيـــم المعامل ∝ المقابلة لترددات صوتية مختلفة •

التردد / نوعية السطح الممتص للطاقة الصوتية	٦٢	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
الماء (كما في حمامات السباحة – الرخام	—	٠ر٠١	—	٠ر٠١	—	٠ر٠٢	—
حائط خرساني او حصيرة خرسانية	٠ر٠٥	٠ر٠٢	٠ر٠٢	٠ر٠٢	٠ر٠٤	٠ر٠٥	٠ر٠٥
حائط مبنى بالطوب مغطى بطبقة من المونة	٠ر٠٥	٠ر٠٢	٠ر٠٣	٠ر٠٢	٠ر٠٣	٠ر٠٤	٠ر٠٥
سطح زجاج كبير بسمك ٠ر١ سم	٠ر١٠	—	٠ر٠٤	—	٠ر٠٢	—	—
جدار خشبي	٠ر١٠	٠ر١٥	٠ر٢٠	٠ر١٠	٠ر١٠	٠ر١٠	٠ر١٠
ستارة سميكة ملاصقة لحائط	٠ر٠٥	٠ر٠٥	٠ر١٠	٠ر١٥	٠ر٢٠	٠ر٢٥	٠ر٣٠
سجادة صوف على ارضية خرسانية	٠ر٠٥	٠ر١٠	٠ر١٥	٠ر٢٥	٠ر٣٠	٠ر٣٠	٠ر٣٠
سجادة صوف على ارضية خشبية	٠ر١٥	٠ر٢٠	٠ر٢٥	٠ر٣٠	٠ر٣٠	٠ر٣٠	٠ر٣٠
غطاء اسبستوس ملاصق جدار	—	٠ر١٥	—	٠ر٥٠	—	٠ر٧٠	—
طبقة مزدوجة من البيوتامين (٢ كجم/متر٢) بفاصل هوائي سمك ٢٥ سم	٠ر٩٠	٠ر٥٠	٠ر٣٠	٠ر٢٠	٠ر١٠	٠ر١٠	٠ر١٠
غطاء مبطن للجدار مصنوع من البلاستر المسامي مُعلق على بعد ١٢ سم	—	٠ر٤٥	٠ر٧٠	٠ر٨٠	٠ر٦٥	٠ر٤٥	—
مقعد خشبي شاغر	—	٠ر٠٨	—	٠ر١٥	—	٠ر١٨	—
مقعد خشبي يجلس عليه شخص متوسط الحجم	—	٠ر١٦	—	٠ر٤٠	—	٠ر٤٤	—
مقعد منجد شاغر	—	٠ر١٢	—	٠ر٢٨	—	٠ر٣٢	—
عضو فرقة موسيقية مع آلته الموسيقية	٠ر١٨	٠ر٢٧	٠ر٨٠	١ر١٠	١ر٣٠	١ر٢٠	١ر١٠

مثـــال (٥ـ١) :

في احد التجارب لتعيين T_p كانت سرعة تحريك ورق شريط التسجيـــل (راجع شكل (٥ـ٤)) ٣٠ ملليمتر/ثانية . وبعد ان تحرك الشريط مسافـــة ٢٧ ملليمتر بهذه السرعة اتضح ان مستوى الصوت هَبَط بمقدار ٣٠ ديسيبل . احسب زمن الارتداد T_p بفرض ان التردد ٢٠٠٠ هيرتز .

الحـــل :

بما ان سرعة ورق المسجل = ٣٠ مم / ثانية

إذاً ١ مم يقابل زمن ١/٣٠ ثانية

وعليه فان ٢٧ مم تقابل زمن $(٢٧ \times \frac{١}{٣٠})$ = ٩ر٠ ثانية .

وبما ان خلال هذه الفترة (٩ر٠ ثانية) حدث نقص بمقدار ٣٠ ديسيبل في مستوى الصوت .

هذا معناه أن الزمن T_p الكافي لأن يحدث نقص في مستوى الصـــوت بمقدار ٦٠ ديسيبل = ٩ر٠ $\times \frac{٦٠}{٣٠}$ = ٨ر١ ثانية .

مثـــال (٥ـ٢) :

احسب مجموع الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية داخل غرفة بالمواصفات التاليـــة (في المدى ٣٠٠ ــ ٦٠٠ هيرتز) :

حجم الغرفة ٦٠ متر٣ ، مساحة طبقة من الجدران المغطاه بالابلاكاش ٢٠ متـر٢ (α = ١ر٠) ــ مساحة الارضية المغطاه بالسجاد ٢٠ متر٢ (α = ٣ر٠) ــ مساحة الجدران المبنية بالطوب ومغطاه بالمونة ٥٠ متر٢ (α = ٠٢ر٠) ــ مساحة النافذة الزجاجية ١٠ متر٢ (α = ١ر٠) مع وجود ٥ اشخاص جالسين على كراسي خشبية ($\alpha_1 S_1$ تُعتبر ٤ر٠ سابين) ماذا يحدث لمستوى الصـــوت اذا حدث ان اصبح الامتصاص الكلي ضعف القيمة التي وجدتها ؟

الحـــل :

المـــادة	المساحة S_i	α_i	الامتصاص $\alpha_i S_i$
الجدار الابلاكاش	٢٠	١ر٠	٢
السجاد	٢٠	٣ر٠	٦
الجدار المبني بالطوب ومغطى بالمونة	٥٠	٠٢ر٠	١
النوافذ	١٠	١ر٠	١
الاشخاص (٥ × ٤ر٠)	ــ	ــ	٢

المجموع = $\sum S_i \alpha_i$ = ١٢ سابين مترى

وحيث ان شدة الصوت المرتد يتناسب عكسيا مع مجموع الامتصـــاص A_t داخل الغرفة فان هذا يعني أنه إذا زادت A_t بمقدار الضعف فان مستـــــوى الصوت ينقص بمقدار ٣ ديسيبل (ناتجة من ١٠ لوغاريتم ٢) ٠

مثـــال (٥ـ٣) :

حجرة حجمها ٤٢٥ متر مكعب ومجموع مساحة الارضية والسقف وجدرانهـــا ٤١٥ متر مربع ، احسب زمن الارتداد لها على فرض ان $\bar{\alpha}$ زيدت من ٨٥٠ر٠ الى ٤٢ر٠ مستخدما في حساباتك :

أ ـ معادلة ايرينج

ب ـ معادلة سابين ٠

الحـــل :

أ ـ تنص معادلة ايرينج على :

$$T_r = \frac{4 \times 60 \times V}{(S.v).(10 \log \frac{1}{1-\bar{\alpha}})}$$

$$\therefore \quad (T_r)_1 = \frac{(240).(435)}{(415).(335).(10 \log(\frac{1}{1 - 0.085}))} = 17.95$$

$$, \quad (T_r)_2 = \frac{(240).(435)}{(415).(335).(10 \log(\frac{1}{1 - 0.42}))} = 0.317$$

ب ـ باستخدام معادلة سابين

$$(T_r)_1 = \frac{0.16\ V}{S} = \frac{(0.16).(435)}{(415).(0.085)} = 1.97 \text{ sec.}$$

$$, \ (T_r)_2 = \frac{(0.16).(435)}{(415)\ .\ (0.42)} = 0.4 \text{ sec.}$$

مستوى الصوت داخل غرفة دون توقف المصدر :

فى هذه الحالة يكون الصوت المباشر (الصادر من المنبع) مُتواجد بمستوى (L_d) يعتمد أساسا على طبيعة المصدر • وعلى البعد r للنقطة المراد حساب مستوى الصوت الكلى (L_{tot}) من المصدر ويمكن حسابه بواسطة العلاقة التالية :

$$L_d = L_w - 20 \log_{10} r - 10.9 \qquad (5-13)$$

حيث ترمز L_w الى قُدرة منبع الصوت مقدرة بالديسيبل بالنسبة " لقدرة واحد بيكو وات " ، هذا التواجد يُصاحبه بالطبع الصوت المتعدد الانعكاسات وفى هذه الحالة يتم حساب مستواه L_r من العلاقة التالية :

$$L_r = L_w - 10 \log A_r + 6 \qquad (5-14)$$

على أساس أن هذا المستوى مُتجانس فى جميع أرجاء الغرفة تحت الظروف الاتية :

- أبعاد الغرفة تتميز بنسب منتظمة بمعنى ان البعد الأطول لارضية الغرفة لا يتعدى خمس أمثال لرتفاع سقفها •
- حدود الغرفة غير منتظمة •
- المعامل المتوسط $\bar{\alpha}$ لامتصاص الطاقة الصوتية أقل من ٣ر٠

— منبع الصوت ينبعث منه طيف لايحتوى على مركبات توافقية ذات تـــــــرددات عالية ٠

— النقطة التى تبعد عن المنبع المسافة r فى معادلـــــــــة (5-14) غير قريبة من جدران الغرفة ٠

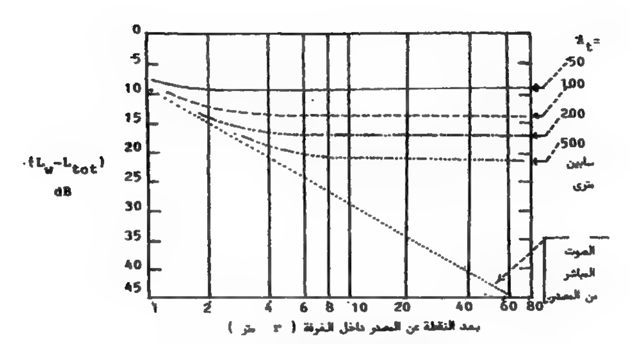
ولحساب المستوى الكلى للصوت L_{tot} نتيجة (L_d) ، (L_r) نطبق الاسلوب المعتاد الذى درسناه قبلا لجمع الديسيبل (راجع صفحة ٨٧) ٠

المعالجة الصوتية لغرفة عن طريق تغيير A_t الخاص بها :

لنفرض أن غرفة قبل معالجتها صوتيا كانت تتميز بمجموع امتصاص $(A_t)_{bef}$ سابين مترى ثم تمّ لها بعض المعالجات الصوتية بتبطين جدرانها او تغطيتها جزئيـــا بأغطية وستائر مناسبة بحيث أصبح مجموع الامتصاص داخل الغرفة بعد هذه المعالجة $(A_t)_{aft}$ ٠ فى هذه الحالة يحدث خفض فى مستوى الصـــوت(L.R.) لهذه الغرفة تبعا للعلاقة التالية :

$$L.R. = 10 \log_{10} \left((A_t)_{aft} / (A_t)_{bef} \right) \quad (5-15)$$

وفى شكل (٥ـــ٨) توضّح المنحنيات التى تربط بين البعد عن مصـــــــــدر الصوت داخل غرفة والفرق بين مستوى قدرة المنبع بالديسيبل (بالنسبة لقـــــدرة ١ بيكو وات) ومستوى الصوت الاجمالى عند تلك النقطة وذلك بفرض ان A_t قيمها ٥٠ ، ١٠٠ ، ٢٠٠ ، ٥٠٠ سابين مترى ٠

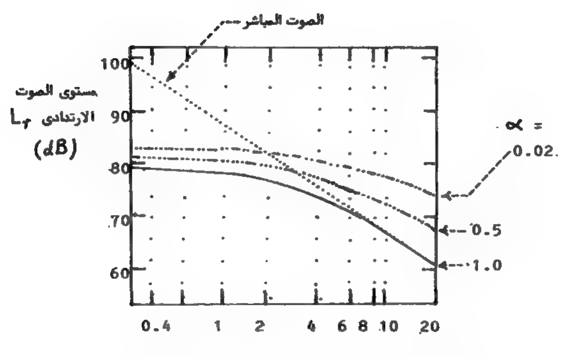


يتضح من هذه المنحنيات أنه بالقرب من مصدر الصوت داخل الغرفة يمثل الصوت المباشر الجزء الاكبر من المستوى الكلى للطاقة الصوتية التى تصل للمستمع. وكلما زادت المسافة التى بينه والمنبع فان اهمية هذا الصوت المباشر بالنسبة له تقل تدريجيا (كما يقل المستوى الكلى للصوت L_{tot} بدليل أن الفرق $(L_W - L_{tot})$ يزداد مع ان L_W ثابتة) الى أن يصبح فى النهاية L_{tot} مساويا L_r وهو مستوى الصوت الارتدادى الناتج من تعدد الانعكاسات كما أشرنا قبل ذلك بشىء من التفصيل .

شكل (٥-٨)

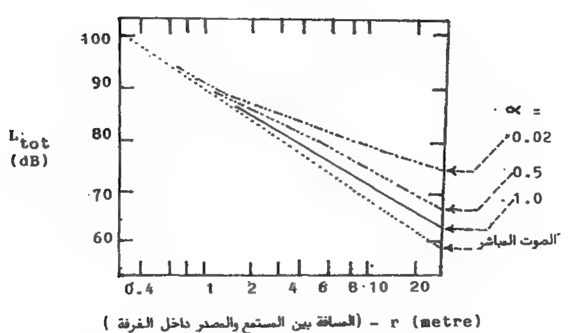
بينما في شكل (٥ـ٩) يتضح تغير L_p كدالة للمعامـــــــــل

وفي شكل (٥ـ٩) تغير L_{tot} كدالة لنفس المعامل .



تأثير قيمة المعامل ∝ على مستوى الصوت الارتدادى L_p .

شكل (٥ـ٩)



تأثير قيمة المعامل ∝ على المستوى الكلي للصوت المباشر والمرتد

شكـــــل (٥-١٠)

مثـــال (٥ـ٣) :

في احدى الغرف الغير معالجة صوتيا تميز طيف الضوضاء بها بالمستويـــــات المعطاه في الجدول التالي :

التردد f (هيرتز)	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
$L_{bef}(f)$ (ديسيبل)	٦٦٫٩	٧٢٫٤	٧٥٫٨	٧٧	٧٦٫٢	٧٣
α (f) (ـ)	٠٫١٥	٠٫٤٠	٠٫٨٥	٠٫٩٠	٠٫٨٠	٠٫٧٠

وبنفس الجدول معطى قيم α للمادة التي تم تغطية ٤٠ في المائة من مساحة جدران الغرفة كمحاولة لتحسين هذه الغرفة صوتيا . احسب التخفيض الناتج فــــي مستوى الضوضاء الارتدادية نتيجة تلك المعالجة . علما بأن α قبل المعالجـــة الصوتية للجدران قيمته ٠٫٠٥

الحــــل :

بما أن تغطية الجدران تمت بنسبة ٤٠٪ من مساحتها الكلية اذا التخفيــض

في مستوى الضوضاء نستطيع ايجاد قيمة لكل من قيم f المعطاه بالتعويض فـــى معادلة (15 - 5) ٠ والجدول التالـــــى يلخص الحسابات الناتجة :

التردد f (هيرتز)	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
L.R.(f) (ديسيبل)	ـ٢ر٦	ـ٥ر٨	ـ٨ر٢	ـ٨ر٩	ـ٨ر٥	ـ٧ر٩
$L_{aft}(f)$ (ديسيبل)	٦٤ر٣	٦٦ر٦	٦٧ر١	٦٨ر١	٦٧ر٧	٦٥

وباتباع الاسلوب الذى رأيناه فى حل مثال (٤ - ٦) نجد ان متوســـط الضوضاء الارتدادية قبل وبعد المعالجة الصوتية هى على التوالى ٧٤ر٤ ديسيبـــل ، ٦٦ر٥ ديسيبل ٠ إذا الاختزال الحادث فى مستوى الضوضاء نتيجة تغطيــة ٤٠٪ من الجدران بالمادة المنتقاه

= ٧٤ر٤ ـ ٦٦ر٥ = ٧ر٩ ديسيبل ٠

وبذلك تعتبر هذه المعالجة لهذه الحالة ناجحة بدرجة حسنة ٠

مثـــال (٥ـ٤) :

صالة بها خمس ماكينات القدرة الصوتية لكل واحدة منها واحد مللي وات (أي أن مستوى قدرة كل منها ٩٠ ديسيبل (بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات) علـــــى مسافات ٣ و ٤ و ٥ و ٦ و ٧ متر من المُشرف على العمل · إحسب المستوى الكلي للصوت L_{tot} الناتج من اضافة الصوت المباشر الصادر من كل ماكينة الى الصــوت الارتدادي · وذلك على فرض أن :

– الامتصاص الكلي A_t يساوي ١٢ سابين متري ·
– الامتصاص الكلي A_t يساوي ٨٧ سابين متري ·

الحـــل :

من المعادلة الخاصة بحساب مستوى الصوت المباشر عند المستمع الصادر مــن منبعه :

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9 =$$
$$= 90 - 20 \log_{10} 3 - 10.9 = \ \text{dB}$$

وبالمثل بالنسبة للماكينات الاربعة الاخرى ، والجدول التالي يلخص ناتــج هذه الحسابات :

المسافة r	٣	٤	٥	٦	٧
مستوى الصوت المباشر L_d	69.6	67.1	65.1	63.5	62.2

إذاً L_d الكلية نحسبها بنفس النمط الذى درسناه وهى :

$$(L_d) = 73.3 \quad dB$$

وبالنسبة للصوت الارتدادى فنلاحظ أن مستوى القدرة للماكينات الخمسة $(L_w)_{tot}$ (راجع مثال (٢-٥))

$$(L_w)_{tot} = 90 + 10 \log 5 = 97 \quad dB$$

وبأخذ الامتصاص الكلى A_t بقيمة ١٢ سابين مترى فيكون مستوى الصوت الارتدادى L_r عبارة عن (معادلة (5-14)) :

$$L_r = 97 - 10 \log 12 + 6 = 92 \quad dB$$

وبجمع L_d ، L_r نحصل على : $L_{tot} = 92.1$

وبالمثل باعتبار A_t تساوى ٨٧ سابين مترى :

$$\therefore \; L_r = 97 - 10 \log 87 + 6 = 83.6 \quad dB$$

$$\therefore \; L_{tot} = 84$$

أى أن زيادة A_t من ١٢ سابين الى ٨٧ سابين مترى تُضيف الى خفض الصوت بمقدار ٨ ديسيبل ٠

تأثير قرب مصدر الصوت من سطح عاكس :

وُجد بالتجربة مايلى :

- اذا كان مصدر الصوت يبعد اكثر من ١ متر من الجدار لا داعى لاى تصحيح ٠
- اذا كان بجانب حائط مفرد — يضاف ٣ ديسيبل لمستوى الصوت ٠
- اذا كان المصدر عند التقاء جدارين أو جدار وأرضية أو جدار وسقف — يضاف ٦ ديسيبل ٠
- اذا كان المصدر عند ٣ اسطح (جدارين وسقف مثلا اى عند ركن فى الغرفة) يضاف ٩ ديسيبل ٠

مثـــال (٥ـ٥) :

مروحة هواء يصدر عنها ضوضاء بمستوى قدره ١٠٥ ديسيبل بالقياس النسبى قدرة ١ بيكو وات • احسب مستوى الضوضاء المباشرة فى الغرفة للحالات المفترضة التالية بالنسبة لشخص على بعد ٣ متر منها •

أ ـ اذا علقت على بعد ٢ متر من النقطة المركزية للسقف •

ب ـ اذا علقت قريبة جدا من النقطة المركزية للسقف •

ح ـ اذا علقت عند التقاء السقف بأحد الجدران •

د ـ اذا علقت عند احد الاركان •

الحـــــل :

أ ـ بما ان مصدر الضوضاء على بعد ٢ متر إذا لاداعى لاى تصحيح نتيجة اى سطح عاكس :

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9$$

$$= 105 - 20 \log 3 = 85 \quad dB$$

ب ـ فى هذه الحالة علينا اضافة ٣ ديسيبل للنتيجة التى حصلنا عليها فى الجـــزء (أ) :

$$\therefore \; L_d = 88$$

حـ – يجب اضافة ٦ ديسيبل : $\therefore \quad L_d = 91 \quad dB$

د – يجب اضافة ٩ ديسيبل : $\therefore \quad L_d = 94 \quad dB$

التحكم في مستويات الصوت فى الغرف المنفصلة عن بعضها بحواجز جزئية :

توجد مثل هذه الاماكن فى البنوك والشركات وبعض الانشطة الاخرى ۰ عندئذ يجب ان تتميز الحواجز الجزئية الفاصلة بين تلك الغرف وكذلك يجب تمييز هـــــذه الغرف بما يلى :

١ – لايقل ارتفاع الحاجز عن ١٫٥٠ متر ۰

٢ – كتلة وحدة المساحات من الحاجز اكبر من ٢٫٥ كجم / متر٢ ۰

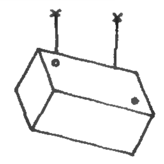
٣ – لاتزيد الفجوة بين الطرف الأسفل للحاجز والارضية عن ٣ سم حتى لاتحـــدث انعكاسات للصوت على الارضية من غرفة الى غرفة أخرى ۰ مع زيادة أبعـــــاد الحاجز بما هو متاح من حيز بقدر الامكان لان هذه الزيادة يصحبها زيــــادة فى كفاءة الحاجز لعزل الصوت۰

٤ – تبطين وجهى الحاجز باغطية تتميز بكفاءة عالية لامتصاص الطاقة الصوتية مثـــل الياف الصوف الزجاجى بسمك مناسب (حوالى ٥ سم فى كل جانب) ۰

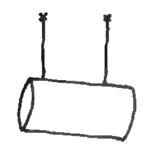
٥ – تزويد الصالة التى تشتمل على المكاتب المفتوحة بسقف مبطن بمادة معامـــــل امتصاصالطاقة الصوتية (α) لها لا يقل عن ٠٫٩ بالنسبة لشرائط التردد

الثلاث ١٠٠٠ ، ٢٠٠٠ ، ٤٠٠٠ هيرتز وتغطية جدرانها باغطيـــة ماثلة ٠

٦ ــ استخدام مجموعات انارة متدلية من السقف بنوعية لها القدرة على تشتيت الصوت واستطارته ــ كالعينة الموضحة فى الشكل التالى ــ وتجنب استخدام مسطحـــات انارة من شأنها زيادة انعكاس الطاقة الصوتية من مكتب الى مكتب آخر ٠







وحدات إنارة بتصميم هندسى يُساعد على استطارة الطاقة الصوتية

شكل (٥ــ١١)

خصوصية الغرف بالنسبة للتخاطب بين الاشخاص :

فى المعتاد تعتبر خصوصية الغرف من نوعيتين :

النوعية الأولى : ويُطلق عليها اسم " الخصوصية العادية " للغرفة اذا كان الحديث

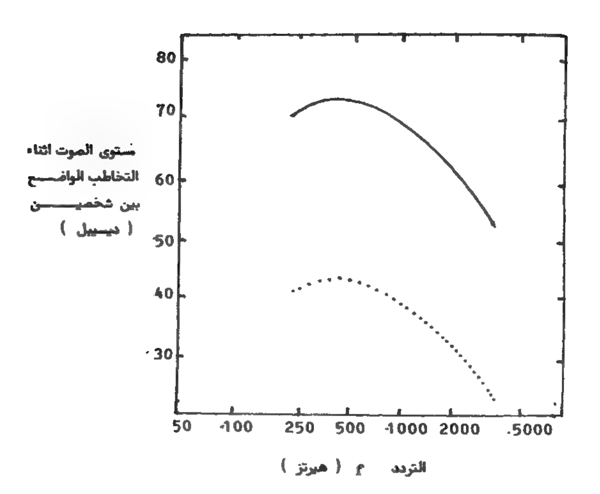
خارجها قد تعدى حدودها فتسلل اليها بصورة " غير مزعجة " ولكنه مسموعا وبعض الالفاظ التي جاء بها مميزة دون بعضها •

النوعية الثانية : ويطلق عليها اسم " الخصوصية الموثوق بها " ـ او الخصوصية السرية للغرفة ـ اذا أصبح الحديث الخارجي المتسلل اليها غير واضح المعالم •

وخصوصية الغرفة بنوعيها تعتمد على عدة عوامل :

أ ـ المجهود الذي يبذله المتحدث في نطق كلماته ويوضح ذلك شكل (٥ـ١٢) ، حيث تمثل المساحة بين المنحنيين المدى الذي يتم فيه التخاطب العادي بين شخصين ونجد انه محدد بمستوى ادنى (٤٣ ديسيبل) • ومستوى اعلى (٧٣ ديسيبل) •

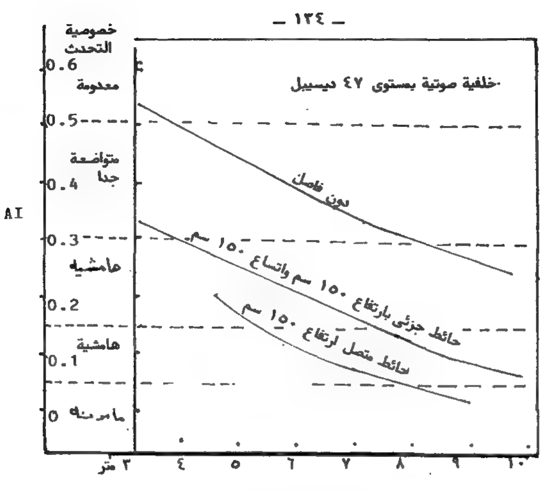
وبديهي ان هذا المجهود يزداد من قِبَل المتحدث كلما زادت خلفية الضوضاء الموجودة في الحيز الذي به المتحدث والمتلقي فلقد اوضحت القياسات السمعية ان الاذن العادية قادرة على دون ازعاج او مجهود كبير سماع الاحاديث بصحبة خلفية صوتية مستواها في حدود ٤٧ ديسيبل • وفي شكل (٥ـ١٢) موضح تأثير زيادة المسافة بين المتحدث والمستمع على معامل وضوح النطق (Articulation Index) والذي يعتبر مقياسا لخصوصية الحديث بينهما • ويشمل الشكل تأثير تواجد فاصل جزئي او فاصل متصل بينهما



مستويات الصوت للحديث العادى بين شخصين

كدالة للتردد

شكل (٥ـ١٢)



المسافة بين المستمع والمتكلم (بالقدم) ، بالمتر

اتصال التحدث باستخدام ساتر

مع استخدام سقف له معامل خفض الضوضاء اكبر من ٨ر٠

واستخدام جهاز شوشرة الكتروني مكون من :

- مولد ضوضاء ذات شريط ترددى متسع ٠
- مكبر الكترونى ٠
- وحدة لاصدار الصوت Speakers مناسبة موضوعة في المعتاد بحذاء سقف معلق Placed above a drop ceiling وموجهة الى المتلقى ٠

شكل (٥ـ١٣)

بجانب عدم وجود اى حاجز بينهما ٠

هذا بالنسبة للحديث العادى بين شخصين ٠ بينما يوضح شكـــــل (٥ـ١٤) الفرق فى مستويات الصوت في حالة ان الحديث مرتفع المستـــوى او مرتفع جدا او هو أشبه بالصراخ ٠ وبالطبع هذا كله ينعكس على خصوصيـة الغرفة كما هو موضح ٠

ب ـ الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية (A_1) فى كل من الغرفتين المتجاورتين ٠ وهذا يتحدد كما رأينا قبلا بالاثاث الموجود في الغرفة وكذلك السجاجيد والمواد المبطنة للسقف ونوعية اسطح جدرانها ٠ وعدد الاشخاص الموجودين بداخلها ٠

حـ ـ الخلفية الصوتية فى غرفة المستمع (كما اتضح فى شكل (٥ـ١٣)) ٠

د ـ مساحة الحاجز الذى يفصل بين الغرفتين (S) ٠

هـ ـ رُتْبة نفاذية الصوت لهذا الحاجز (STC) ٠ وهذه يمكن حسابها مـــن العلاقة التالية :

$$STC \geq K - L_b - 10 \log [(A_{source} \cdot A_{rec.})/S]$$

حيث :

SPL ref 6.0002 dy/cm²

90
80
70
60
50
40

د
حـ
ب
أ

0 .3 .6 .0 1.2 1.5 1.8 2.1 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6

r(m)

المسافة بين المتكلم والمستمع المواجهين لبعضهما وبعيدا عن اي مسطحات عاكسة للطاقة الصوتية

أ ــ حديث عادى المستوى

ب ــ حديث مرتفع المستوى

حـ ــ حديث مرتفع المستوى جدا

د ــ صراخ

مستويات النوعيات المختلفة للحديث بين شخصين كدالة للمسافة بين المتحدث والمستمع

شكل (٥ــ١٤)

S (كماأشير اعلاه) مساحة الحاجز الذى يفصل بين الغرفتين المتجاورتين •

A_{source} الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة التى تنشأ فيها الضوضاء المتسللــة للغرفة الاخرى •

A_{rec} الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة التى يتسلل اليها الضوضاء •

L_b مستوى الضوضاء الخلفية المتواجدة فى الغرفة المطلوب حماية خصوصيتهــا الصوتية •

ويُعرف L_b بانه مستوى الصوت الخاص بالضوضاء في ثلاث شرائط ترددية (٦٠٠ ـ ١٢٠٠) هيرتز ، (١٢٠٠ ـ ٢٤٠٠) هيرتز ، (٢٤٠٠ ـ ٤٨٠٠) هيرتز • وهى نفس المستويات الموضحة فى شكل (٥ـ١٤) كدالة للمسافة بين المتحدث والمستمع بحيث يصبح فى الامكان ـ بالكــاد ـ التعرف على مايسمعه المتلقى بدون عناء •

K ثابت تعتمد قيمته (بالديسيبل) على كل من المستــوى (L_b) ونوعية الخصوصية المطلوبة فى الغرفة • وهذا موضح لبعض نماذج الغــرف فى الجدول التالى :

جدول (٥ ـ ٦)

طبيعة الغرفة	مستوى الخلفية الصوتية L_b	قيمة الثابت K	
		خصوصية عادية	خصوصية سرية
غرفة اجتماعات كبيرة	٣٥	٩٢	٩٩
غرفة رئيس شركة	٤٠	٨٧	٩٤
غرفة مكتب	٤٥	٨٢	٨٩
غرف مكاتب منفصلة بحواجز جزئية	٥٠	٨٢	٨٩
غرفة انتظار	٥٠	٨٧	٩٤

مثـــال (٥ـــ٦) :

غرفة رئيس احدى الشركات يفصلها عن غرفة السكرتيرة جدار مساحته ٨ر٩ متر٢ ومطلوب عدم السماح لأى ضوضاء بغرفة السكرتيرة أن تتسلل الى غرفة رئيسها . عيـــن رتبة نفاذ الصوت لهذا الجدار بفرض ان الاحاديث التى تجرى فى غرفة رئيس الشركــــة تصل الى غرفة السكرتيرة غير واضحة . وأن :

مساحة المسطحات بغرفة السكرتير = ٢٤ متر٢

مساحة المسطحات بغرفة رئيس الشركة = ٥٨ متر٢

المعامل المتوسط لامتصاص الطاقة الصوتية بغرفة رئيس الشركة = ٨٥ر٠

المعامل المتوسط لامتصاص الطاقة الصوتية بغرفة السكرتير = ٢٨ر٠

الحـــــل :

أ ـ بفرض سرية الاجتماعات بغرفة رئيس الشركة هي المطلوبة :

قيمة الثابت K = ٩٢ ديسيبل (راجع جدول (٥ـ ٥))

الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية بغرفة رئيس الشركة = ٣ر٤٩ سابين مترى

الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية بغرفة السكرتير = ٧ر٦ سابين مترى

مستوى الخلفية الصوتية بغرفة السكرتير = ٤٥ ديسيبل

$$\therefore \quad STC = 92 - 45 - 10 \log \left(\frac{49.3 \times 6.7}{9.8}\right)$$

$$= 32 \quad dB$$

ب ـ بفرض أن الاصوات في غرفة السكرتير يتسلل بعضها الى غرفة رئيس الشركـــــة في حدود الخصوصية العادية :

قيمة الثابت K = ٩٢ ديسيبل ٠

مستوى الخلفية الصوتية بغرفة رئيس الشركة = ٣٥ ديسيبل

$\therefore \quad STC = 92 - 35 - 15.3$

$= 42 \quad dB$

بسم الله الرحمن الرحيم

البـــــاب الســـــادس

التحكم فى الضوضاء الصادرة من اجهزة التكييف والتهويـــة

يلاحظ ان مجموعات التكييف اصبح استخدامها شائعا فى معظم المبانــــــــــى (خصوصا فى المدن الكبيرة) سواء السكنية او الادارية او المستشفيات أو مبانـــــى الانشطة الاخرى مثل المصانع والشركات ودور العروض الفنية ومراكز الانشطة السياحية •

وهنا نبدأ بالاشارة الى انه بالاضافة الى ما يحققهُ جهاز التكييف من أغـــــراض التدفئة والتبريد للمكان الموجود به يجب ان يُحقق كذلك الشروط الواجب توافرهـــــا من ناحية مستويات الضوضاء التى تصدر منه فى هذا المكان وما ينتشر منها للأمكنـــــة المجاورة •

أهم مصادر مثل هذه الضوضاء الاجزاء التالية التى يشملها فى المعتـــــــــاد جهاز التكييف :

أ ـ الحركات الاهتزازية والذبذبات لقاعدة جهاز التكييف وانتقالها خلال الهيكل الخرسانى للمبنى ومرفقاته فى صورة ضوضاء منتشرة الى مسافات كبيرة عبر المبنى وخارجه •

ب ـ الحركة الدورانية (سواء محورية أو مصحوبة بطرد مركزى) الخاصة بمروحة جهاز التكييف •

حـ ـ الحركات الاهتزازية والذبذبات لريش فوهة خروج الهواء المنبعث من الجهاز والهيكل المعدنى لجهاز التكييف •

هذا على افتراض ان الجهاز عبارة عن وحدة تكييف منفصلة • اما اذا كان عبارة عن مجموعة تكييف مركزى فيضاف لمصادر الضوضاء :

د ـ القناة او مجموعة القنوات التى يتدفق خلالها الهواء المكيف وكذلك قنوات الارجاع • حيث ينبعث الهواء المكيف من فتحات موزعة توزيعا خاصا بما يناسب ظروف الوحدة السكنية او المبنى •

وسوف نحاول فيما يلى ان نلخص بعض الملامح الخاصة بكل من هذه المصادر وجميعها مبنية على المشاهدات التجريبية •

أ ـ الضوضاء المتولدة من الحركة الذبذبية واهتزاز الاجسام : (راجع الباب الاول)

كما اشرنا توا فان الحركة الاهتزازية التى يتعرض لها المبنى او اى جزء منه نتيجة تشغيل ماكينة ما مثل وحدة تكييف يمكن ان تنتقل من مبنى الى مبنى آخر عن طريق الارضية الصلبة التى تصل بين اساسات كل منها • كذلك يمكن

ان تنتقل من جزء من المبنى الى جزء آخر منه عن طريق الهيكل البنائي له ٠

ذلك كله عن طريق انتقال " مُركبات القوى الاَصلية " التى نشأ عنها الحركـــة الاهتزازية للمصدر (راجع صفحة (٥)) ٠

مثل هذه الحركات الاهتزازية والذبذبات بالمبنى لها اربع آثار :

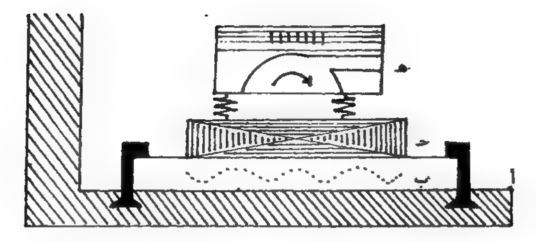
١ ـ ربما تؤدى الى تلف لبعض اجزائه ٠

٢ ـ ربما تؤدى الى ازعاج جسمانى لشاغلى المبنى ٠

٣ ـ امكانية تدخلها بطريقة غير مرغوب فيها فى ظروف الانشطة التى تتم داخـــــل المبنى ـ مثال ذلك التأثير على دقة قراءة جهاز حساس ٠

٤ ـ تؤدى الى نشوء ضوضاء من جرائها الازعاج العصبى للاشخاص داخل المبنــــى وخارجه ٠

لذلك يجب على القائمين بتركيب هذه الوحدات عمل كل ما يحقق تلاشـــــى هذه الآثار أو الاقلال منها لادنى مستوى ٠ وموضح بشكل (٦ـ١) احد الوسائـــل لتحقيق ذلك ٠ حيث نلاحظ اضافة وسادة مطاطية لزيادة كفاءة عزل الحركة الاهتزازية بواسطة استخدام التحميل الزنبركى لمجموعة التكييف ٠



أ جزء من الهيكل البنائى للوحدة السكنية او الغرفة ٠

ب وسادة مطاطية بسطح ونوعية منتقاه بحيث تتحمل الثقل المستقر عليهـــــا دون ان يحدث لها تهتك

حـ قاعدة صلبة لزيادة " القصور الذاتى " لمجموعة التكييف ٠

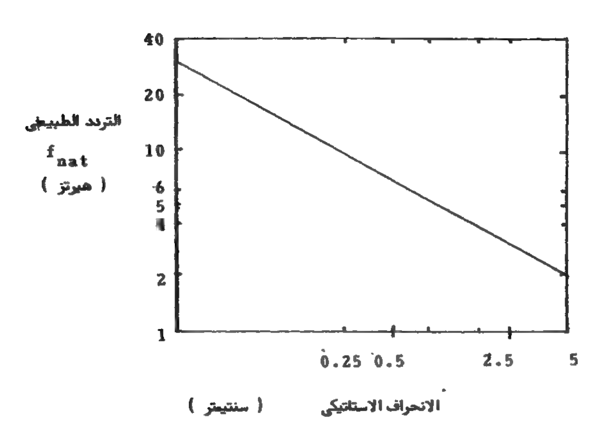
د وصلات زنبركية لعزل الحركة الاهتزازية لمجموعة التكييف عن المبنى ٠

هـ مجموعة التكييـــف ٠

رسم توضيحى يمثل أحد السبل للتحكم فى الضوضاء

الناتجة من الحركة الاهتزازية

شكل (٦ـ١)



التردد الطبيعى لمجموعة التحميل كدالة للانحراف الاستاتيكى

شكل (٦ـ٢)

ويمكن حساب كفاءة مثل هذه المجموعة (Eff.) فى عزل الحركـــــــــة الاهتزازية عن المبنى بواسطة العلاقة التالية :

$$(Eff.) = 100 \left(1 - \frac{1}{(f_{rot} / f_{nat})^2 - 1} \right) \qquad (6\text{-}1)$$

حيث :

f_{nat} = التردد الطبيعي لمجموعة عزل الذبذبات ويمكن معرفته من المنحنـــى الموضح بشكل (٦ـ٢) بمعلومية الانحراف الاستاتيكـــى d (بالسنتيمتر) لها وهذا المنحنى يحقق المعادلة :

$$f_{nat} = 5 \sqrt{\frac{1}{d}} \qquad (6\text{-}2)$$

f_{rot} = تردد مصدر الحركة الاهتزازية وهى المروحة فى هذه الحالة ٠

كما ان الاختزال الناتج فى مستوى الضوضاء $(NR)_{vib}$ يمكن حسابه مـــن المعادلة :

$$(NR)_{vib.} = 40 \log_{10} (f_{rot}/f_{nat}) \quad dB \qquad (6\text{-}3)$$

ب ـ الضوضاء الصادرة من مراوح وحدات التكييف (أو مراوح التهوية) :

تتميز الضوضاء الصادرة من المراوح بانها عالية المستوى (حتى تلك الصـــادرة من الصغيرة منها ٠) ٠ لذلك يجب وضعها على مخدات ماصة للاهتزازات على النحـــو السابق ذكره بخصوص شكل (٦ـ١) ٠ وذلك حتى يتم تهدئة الضوضاء الصـــادرة منها فى مكان تشغيلها اذ وُجد أن هذا أوفر اقتصاديا واكبر كفاءة ٠

ويمكن حساب مستوى ضوضاء المروحة (التى تشتغل بسرعات متفاوتة) عـــن
طريق اى من العلاقتين التاليتين :

$$(L)_{fan} = 20 \log [H.P.] \quad dB \qquad (6\text{-}4)$$

$$, (L)_{fan} = 50 \log [r.p.m.] \quad dB \qquad (6\text{-}5)$$

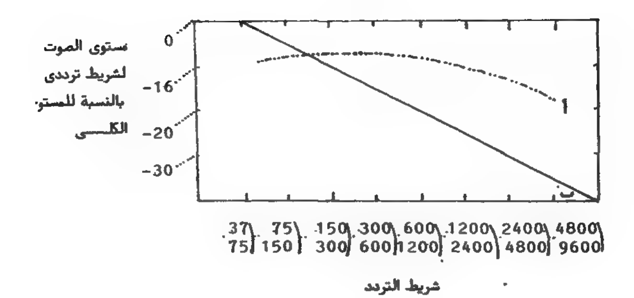
حيث :

(H.P.) قدرة المروحة مُعبّر عنها بقدرة حصان ٠

(r.p.m.) عدد اللفات التى تتمها ريش المروحة فى الدقيقة الواحدة ٠

وهاتين العلاقتين توضحان انه من الافضل (من ناحية التحكم فى الضوضاء) تشغيل
مروحة كبيرة بنصف معدلها عن تشغيل مروحة بكامل طاقتها قدرتها نصف قـــــدرة
المروحة الكبيرة ٠

وفى المعتاد تعطى الضوضاء الصادرة من المراوح معبّر عن مستوياتها بدلالـــة
الشريط الترددى بالاسلوب المبين بشكل (٦ـ٣) ٠ وذلك للنوع المحورى أو النـوع
الذى يشتغل باسلوب الطرد المركزى ٠



الضوضاء الناتجة عن المراوح بنوعيهـــــا

أ ـــ مروحة محورية ب ـــ مروحة تعمل باسلوب الطرد المركزى

شكل (٦ــ٣)

والسبب الرئيسى فى انبعاث هذه الضوضاء هو أن فى كل مرة تمر اى مـــــن ريّش المروحة بنقطة ما اثناء دورانها فان الهواء عند هذه النقط يُعطى دَفْعة ميكانيكيـــة تُحركه بقوة مفاجئة ينتج عنها تلك الضوضاء (مثل الضوضاء التى تصاحب التدفـــــق الدّوامـــى لاى غاز او اى سائل كما يقابلنا فى الغلايات وانابيبها او عند انحنــــاءات مواسير المياه) وتعتمد نغمتها الاساسية (راجع شكل ( )) على تـــردد حركة الريّش . بينما تعتمد مركباتها التوافقية على النمط الذى يتم به استقبال الدفعـة

الميكانيكية المشار اليها • واذا تم تركيب المروحة بين قناتين مقطع كل منهما مساحته S وانحدار الضغط عبر جانبي المروحة P ملليمتر ماء يمكن حساب مستوى الضوضاء الكلية L_{tot} النابعة من المروحة تبعا للعلاقة التالية :

$$(L_{fan})_{tot} = 97 + 10 \log (H.P.) - 10 \log (10.8\, S) + 10 \log \left(\frac{P}{25} \right) \qquad (6\text{-}6)$$

اما مستويات الضوضاء الخاصة بشرائط التردد المختلفة فيدخل في حساباتها كل من :

ـ تردد حركة ريش المروحة (B_f) ويمكن حسابه من العلاقة :

$$B_f = \frac{(\text{عدد لفات الريش في الدقيقة}) \times (\text{عدد ريش المروحة})}{٦٠}$$

$$= \frac{(n_b) \cdot (r.p.m.)}{60} \qquad (6\text{-}7)$$

ـ حجم الهواء المتدفق عبر المروحة في الثانية الواحدة (Q)

ـ انحدار الضغط P (ملليمتر ماء) عبر جانبي المروحة •

ـ عدد معين من الديسيبل يسمى " الزيادة الخاصة بتردد ريش المروحة" ويعتمد على الشريط الترددي الذي يحتوي على تردد حركة ريش المروحة ويرمز له بالرمز

(BFI) ــ وقيمته في المتوسط ٥ ديسيبل تضاف للمستوى الخاص بهذا الشريط الترددي فقط دون باقي مدى التردد •

جـ ــ الضوضاء الصادرة من المسطحات " الواجهات " المهتزة :

في الجزء (أ) ألمحنا الى الضوضاء الناتجة من " جسم " مهتز ولكن في هذا الجزء نذكر كلمة خاصة باهتزاز المسطح الخارجي لجهاز التكييف ــ ومايحتوى على ريش او شبك ــ او المسطح الخارجي الخاص بقناة التكييف •

وعموما المسطحات المعدنية ــ او المصنوعة من مواد صلبة مشابهة ــ تهتز توًا بمجرد ان يهتز المصدر المتصل بها (كثيرا ما يلاحظ مثل ذلك باهتزاز زجاج النوافذ لحظة مرور مركبات ثقيلة بالطريق العام أو مرور قطارات السكك الحديدية اذا كان المبنى قريبا منها) • وينبعث ضوضاء نتيجة ذلك وتنطلق الى الحيز المحيط بهذه المسطحات •

ويتناسب مستوى هذه الضوضاء ($(L)_{V.N.}$) مع سرعة اهتزاز المسطح • ولكن نظرا لسهولة قياس عجلة الحركة الاهتزازية فانه عادة مايعبر عن ذلك بدلالة العجلة (a) كما يلي :

$$(L)_{V.N.} = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{g} \right) \quad dB \qquad (6\text{-}8)$$

حيث g (٩٫٨١ متر / ثانية٢) ترمز لعجلة الجاذبية الارضية ٠

وعندما يكون السطح المهتز داخل حيز (غرفة مثلا) فان مستوى الصوت الارتـدادى

$(L_r)_{V.N.}$ الناتج عن السطح المهتز نستطيع تعيينه من العلاقة التالية :

$$(L_r)_{V.N.} = (L)_{V.N.} + 10 \log \left(\frac{4\ S.\sigma}{A}\right) \text{ dB} \qquad (6\text{-}9)$$

وهو ما نتوقعه في ضوء ما درسناه عن الصوت الارتدادى داخل الغرف حيث

σ = كفاءة السطح المهتز فى اطلاق الطاقة الصوتية

S = مساحة السطح المهتز

A = الامتصاص الكلى الحادث للطاقة الصوتية داخل الغرفة ٠

د ـ الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف :

بجانب الضوضاء الناتجة من اهتزاز سطحات قناة التكييف التى ذكرناها اعلاه فـى الجزء (حـ) فان الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف تتمثل فيما يلى :

أولا : ضوضاء المراوح الخاصة بالوحدة التى تُمثل القنوات الجزء الناقل لهواء التكييـف لتوزيعه الى اجزاء المبنى الذى تخدمه تلك الوحدة ٠ وسبق لنا ذكر بعـض خصائصها ٠

ثانيا: ضوضاء مصدرها خارج المبنى الذى به وحدة التكييف وتسربت خلال فوهـــــة المروحة عند بداية قناة التكييف • وقد ثبت بالتجربة ان مستوى الضوضـــــاء خارج المبنى بالقرب من فوهة المروحة (L_1) مرتبط بمستوى الضوضـــاء داخل الغرفة نتيجة التسرب خلال القناة (L_2) بالعلاقة التالية :

$$L_2 = L_1 - (NR)_d + 10 \log S - 10 \log A + 6 \quad (6\text{-}10)$$

حيث :

$(NR)_d$ = الخفض الكلى فى مستوى الطاقة الصوتية نتيجة مرورها داخل تجويـــف القناة ، ووجد ان قيمته ـ كما نتوقع ـ تعتمد على كل من :

ـ تردد الطاقة الصوتية •

ـ ابعاد فتحة قناة التكييف او مساحة مقطعها S •

ـ كون جدران القناة مبطنة او غير مبطنة •

والجدول التالى (٦ـ١) يلخص بعضا من هذه النتائج :

جدول (٦ـ١)

معدل الخفض فى مستوى الطاقة الصوتية ــ عبْر كل متر ــ داخل قناة التكييف

(ديسيبل / متر)

التردد / مساحة مقطع القناة S	١٢٥ هيرتز		٢٥٠ هيرتز		٥٠٠ هيرتز	
	غير مبطنة	مبطنة بالياف زجاجية سمك ٢ر٥ سم	غير مبطنة	مبطنة بالياف زجاجية سمك ٢ر٥ سم	غير مبطنة	مبطنة بالياف زجاجية سمك ٢ر٥ سم
١٥سم × ١٥سم	٠ر٦٠	٤ر٦٠	٠ر٤٥	٣ر٩٠	٠ر٣٠	١٠ر٨
٦٠سم × ٦٠سم	٠ر٦٠	٠ر٥٠	٠ر٣٠	١ر٠٠	٠ر١٥	١ر٣
١٨٥سم×١٨٥سم	٠ر٣٠	٠ر٣٥	٠ر١٥	٠ر٣٠	٠ر٠٣	١ر٦

ويمكن التحكم فى الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف (بنوعياتها الثلاث التــى ذكرناها) بعدة طرق من أهمها :

(١) خفض مستوى الضوضاء داخل القناة بتبطين جدرانها (ان لم يكن الخارجيــة مغطاه للحصول على نتائج أفضل) :

كما يتضح من جدول (٦ـ١) فانه اثناء عبور الطاقة الصوتية داخل قناة التكييف

الغير مبطنة يحدث لها بعض الاختزال ولكن بنسب صغيرة • ولزيادة معدل هـــــذا الاختزال بنسب مفيدة فانه يتم تبطين جدرانها من الداخل بمواد تتميز اى منها بكبـــر قيمة معامل امتصاص الطاقة الصوتية مثل الالياف الزجاجية (بسمك حوالى ٢ر٥ سم) • ويكون مقدار الخفض فى مستوى الضوضاء $(NR)_{L.d.}$ عبر كل متر من القناة المبطنة عبارة عن :

$$(NR)_{L.d.} = \frac{P \,.\, \alpha^{1.4}}{S} \qquad dB/m \qquad (6\text{-}11)$$

حيث :

P = طول محيط (Perimeter) القناة

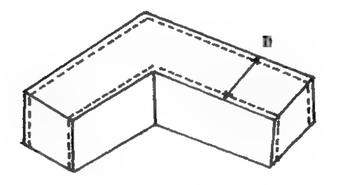
S = مساحة مقطع القناة •

ولكن وُجد ان هذه العلاقة تُعطى قيما غير دقيقة اذا زادت مساحة المقطـــــع S عـــــن ٣ر٠ متر٢ • على ان لاتزيد ابعاد محيط القناة عن ٢ الى ١ • لذلـــك فى هذه الاحوال تستخدم عادة فوالق عبر طول تجويف القناة مكونة من فلين غيـــر مسامى ومبطن من الناحيتين بمواد ذات كفاءة عالية فى امتصاص الطاقة الصوتية •

والفكرة فى استخدام هذه الفوالق (Splitters) هو زيادة قيمة المحيـــط P دون زيادة تُذكر فى المساحة S فى العلاقة فيـــــــزداد $(NR)_{L.d.}$ •

(٢) خفض الضوضاء الناتجة من القنوات باستخدام انحناءات (كل منها يطلـــق عليه كــوع) :

فى المعتاد مثل هذا الالتواء يكون على شكل انحناء قائم الزاوية كما فـــى شكل (٦ـ٤) ويجب ان يحقق شرطين هما :



نموذج لانحناء (كوع) قائم الزاوية

للتحكم فى الضوضاء عبر المسار داخل قناة التكييف

شكل (٦ـ٤)

ـ اتساع القناة (D) اكبر من الطول الموجى λ .

ـ سمك المادة المبطنة اكبر من عُشر الاتساع (D) .

والجدول التالى (٦ـ٢) يلخص مثال للنتائج الممكن الحصول عليها فى هـــذه الحالة بالنسبة لخفض مستوى الضوضاء بالديسيبل كدالة للتردد وكذلك الاتساع (D) •

جدول (٦ـ٢)

الخفض فى مستوى الضوضاء نتيجة تركيب كوع

قائم الزاوية عبْر قناة تكييف

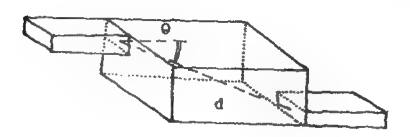
شريط التردد "هيرتز"	اتساع القنـــاة ٣ر٠"متـــر"	اتساع القنـــاة ٢٠ر١ "متر"
٣٧ ـ ٧٥	صفر ديسيبل	١ ديسيبل
٧٥ ـ ١٥٠	١	٣
١٥٠ ـ ٣٠٠	٣	٨
٣٠٠ ـ ٦٠٠	٦	١٦
٦٠٠ ـ ١٢٠٠	٨	١٧
١٢٠٠ ـ ٢٤٠٠	١٦	١٨
٢٤٠٠ ـ ٤٨٠٠	١٧	١٨
٤٨٠٠ ـ ٩٦٠٠	١٨	١٨

(٣) خفض مستوى ضوضاء قنوات التكييف عن طريق تركيب " صندوق " ـ متسع ومبطن ـ بين جزئين من القناة :

تعتبر هذه الطريقة من اكفأ السبل لخفض مستويات ضوضاء قناة التكييف . ويراعى فى هذه الحالة كما هو موضح بشكل (٦ـ٥) ان لايكون فتحتى جزئى القناة على امتداد محور واحد بل يجب ترحيل احدهما جانبا بعض الشئ بالنسبة للآخر .

ولقد وُجد ان الخفض الناتج فى مستوى الضوضاء [المتسع المبطن (NR)]

عبارة عن :



صندوق متسع يتم تركيبه عبّر جزئين من قناة تكييف
لخفض مستوى الضوضاء بكفاءة عالية
شكل (٦ـ٥)

$$(NR)_{\text{المتسع المبطن}} = 10 \log \left[\frac{1}{S_E \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{1-\alpha}{\alpha S_W} \right)} \right] dB \qquad (6-12)$$

حيث

α = معامل امتصاص الطاقة الصوتية الخاص بالمادة المبطنة •

S_E = مساحة مقطع فوهة الخروج •

S_W = مساحة جدار الصندوق المتسع •

d = المسافة بين مركز فتحة الدخول ومركز فوهة الخروج بالصندوق المتسع •

θ = الزاوية بين المسافة (d) والعمود المقام على مستوى فتحة الدخول •

(٤) خفض ضوضاء قنوات التكييف عن طريق تركيب " وحدة متكاملة لخفض الصوت" عند احدى النقط عبر القناة :

بسبب فاعليتها فى خفض الضوضاء هذه الوحدات يطلق عليها احيانا اسم " مصيدة الصوت " ويتم تركيبها بغرض الحصول على قدر محدد من خفض الضوضاء عبر القناة •

وفى المعتاد يتم توريدها باطوال ٩٠ سم ، ١٥٠ سم ، ٢١٠ سم • ويراعى عند تركيبها ان يتم ذلك عند نقط بعيدا عن السريان الدوامى للهواء داخل قناة التكييف ـ على سبيل المثال على ابعاد لطول من ثلاث امثال قطر القناة من اقرب فوهــة مروحة او انحناء (كوع) •

وتتميز " مصيدة الصوت " بثلاث أشياء :

- انحدار الضغط على جانبيها الذى يعتمد على كل من طولها ومساحة مقطعهـا واسلوب تصميمها الداخلى علاوة على سرعة تدفق الهواء خلالها •
- الضوضاء الذاتية والتى تنتشر عبر الاتجاه الطبيعى لسريان الهواء فى مجموعـة التكييف ويتراوح مستواها (لتردد ٥٠٠ هيرتز) بين ٤٧ ديسيبـل ، ٦٤ ديسيبل •
- خفض مستوى الضوضاء نتيجة ادماجها ويقصد به الفرق بين مستوى قدرة الصـوت عند نقطتين على جانبى وحدة خفض الصوت ويتراوح مقداره (عند تردد ٥٠٠ هيرتز) بين ٣٨ ديسيبل ، ٤٠ ديسيبل •

(٥) خفض الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف عن طريق استخدام تفريعات متعـددة لتقسيم قدرة الصوت بينها :

عند خروج احد الفروع من قناة التكييف الرئيسية فان الطاقة الصوتية ستجزأ عنـد نقطة الخروج بنفس نسبة مساحتى المقطع لهما تبعا ل[illegible]لاقة الت[illegible] :

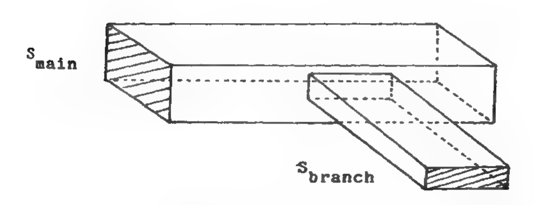
$$(DBS)_{\text{نتيجة التفريع}} = 10 \log (S_{branch}/S_{main}) \quad dB \tag{6-13}$$

حيث :

DBS = عدد الديسيبل التى تُطرح من مستوى قدرة الصوت في القناة الرئيسيـــــة لنحصل على مستوى قدرة الصوت فى القناة الفرعية (شكل (٦ـ٦)) ٠

S_{branch} = مساحة مقطع القناة الفرعية

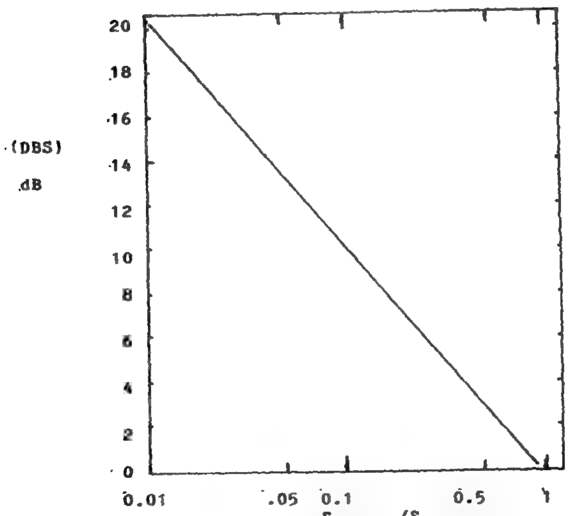
S_{main} = مساحة مقطع القناة الرئيسية ٠



قناة رئيسية مساحة مقطعها S_{main} ويتفرع منها قناة جانبية بمساحة مقطع S_{branch}

شكل (٦ـ٦)

فمثلا اذا كانت مساحة مقطع القناة الرئيسية ضعف مساحة مقطع القناة الفرعيـــة فان عدد الديسيبل الذى يطرح (DBS) يساوى ٣ ٠ فاذا كان مستوى قـــدرة الصوت داخل القناة الرئيسية ٤٩ ديسيبل يصبح مستوى قدرة الصوت داخل القنـــاة الفرعية ٤٦ ديسيبل ٠ (راجع شكل (٦ـ٧)) ٠



عدد الديسيبل الذى يطرح من مستوى قدرة الصوت فى القناة الرئيسية لنحصل على المقابل فى القناة الفرعية

شكل (٦ـ٧)

(٦) الخفض الحادث في مستوى الضوضاء المنبعثة من فوهة القناة نتيجة انعكـــاس جزء من الطاقة الصوتية عند طرف القناة متجهة الى داخلها مرة أخرى :

يحدث هذا النقص في الضوضاء نتيجة التغير المفاجيء في ابعاد المسار المتـــاح للطاقة الصوتية الصادرة عند فوهة الخروج ٠

وقد لوحظ ان مقدار النقص في الضوضاء يزداد قدره كلما كانت ابعاد القنـــــاة صغيرة بالنسبة للطول الموجي للصوت ـ اى عند الترددات المنخفضة ٠ وهذا موضح في الجدول التالي (٦ـ٣) :

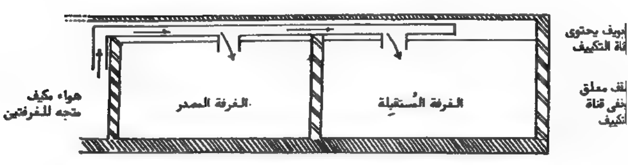
جدول (٦ـ٣)

تأثير الانعكاس الجزئي للضوضاء عند فوهة الخروج من قناة التكييف على مستوى الضوضاء الصادرة منها

التردد / مساحة مقطع القناة	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
١٥ سم × ١٥ سم	١٧	١٢	٦	٣	١	صفر
٣٠ سم × ٣٠ سم	١٢	٦	٣	١	صفر	صفر
٦٠ سم × ٦٠ سم	٦	٣	١	صفر	صفر	صفر
١٢٠ سم × ١٢٠ سم	٣	١	صفر	صفر	صفر	صفر

ـ الأوضاع المختلفة المحتمل تواجد قنوات التكييف عليها والعلاقة الرياضية المقابلة لحساب مستوى الضوضاء الصادر منها :

(أ) قناة التكييف تمتد بين غرفتين احدهما تعتبر مصدر للضوضاء والأخرى مستقبلة لها : (شكل (٦ـ٨)) :



شكل (٦ـ٨)

$$(L_r)_{\text{الغرفة المستقبلة}} = (L_r)_{\text{الغرفة المصدر}} - (NR)_{\text{القناة}} - 10 \log A + 10 \log S \qquad (6-14)$$

حيث :

(L_r) الغرفة المستقبلة = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة المستقبلة للضوضاء .

(L_r) الغرفة المصدر = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة التى نعتبرها مصـــدرا للضوضاء

(NR) القناة = المجموع الكلى لمفردات خفض الضوضاء عبر القناة بين الغرفتيـن نتيجة العوامل المتواجدة فعلا بين فوهتيها .

A = الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة المستقبلة للضوضاء .

S = مساحة مقطع قناة التكييف .

(ب) قناة تكييف تصل بين خارج المبنى وغرفة بها جهاز تكييف وفوهة خروج الهـــواء غير سقريبة من اى سطح عاكس (على مسافة اكبر من متر واحد) :

$$(L)_{\text{خارج المبنى}} = (L_r)_{\text{الغرفة المصدر}} - (NR)_{\text{القناة}} + 10 \log S - 20 \log r - 17 \qquad (6\text{-}15)$$

حيث :

(L) خارج بالمبنى = مستوى الصوت خارج المبنى نتيجة انطلاق الضوضاء المتولدة من جهاز التكييف بالغرفة عبر القناة الى الخارج عند نقطة تبعد مسافة r من فوهة خروج الهواء (مقاسة على امتداد محور القناة) ٠

(L_r) الغرفة المصر = مستوى الصوت الارتدادي في الغرفة التي نعتبرها مصدرا للضوضاء ٠

(NR) القناة = المجموع الكلي لمفردات خفض الضوضاء عبر القناة نتيجة مجموع العوامل المتواجدة فعلا بين فوهتيها ٠

S = مساحة مقطع قناة التكييف ٠

(جـ) قناة تكييف تصل بين خارج المبنى وغرفة بها جهاز تكييف وفوهة خروج الهواء مستواها قريب من مستوى جدار المبنى (اقل من متر واحد) :

$$(L)_{\text{خارج المبنى}} = (L_r)_{\text{الغرفة المصدر}} - (NR)_{\text{القناة}} + 10 \log S - 20 \log r - 14 \qquad (6-16)$$

حيث الرموز المختلفة لها نفس المعانى فى الفقرة السابقة (ب) والفرق الوحيد هنـــــا هو اضافة (٣ ديسيبل) بسبب قرب فوهة خروج الهواء من الجدار •

(د) قناة تُغذى غرفة بالهواء المكيف بينما جهاز التكييف موجود خارج المبنى:

$$(L_r)_{\text{الغرفة المستقبلة}} = (L)_{\text{الجهاز خارج المبنى}} - (NR)_{\text{القناة}} - 10 \log A + 10 \log S + 6 \qquad (6\text{-}17)$$

حيث :

(L_r) الغرفة المستقبلة = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة التى يتم تكييف هوائهـــــا بجهاز خارج المبنى •

(L) الجهاز خارج المبنى = مستوى الضوضاء الصادرة عند فوهة الدخول لقناة التكييف مـــن الجهاز الموجود خارج المبنى •

(NR) القناة = المجموع الكلى لمفردات خفض الضوضاء عبر القناة نتيجة مجمـــوع العوامل الموجودة فعلا بين فوهتيها •

A = الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية في الغرفة ذاتها •

S = مساحة مقطع قناة التكييف •

مثـــال (٦ـ١) :

وحدة تكييف مركزي يحيط بها غلاف معدني ابعاده كالاتي : طول ٤ر٧ متر ، عرض ٥ر٥ متر ، ارتفاع ٢ر٣ متر • فاذا فرض ان مستويات القدرة الصوتيـــة (L_p) الصادرة من هذه الوحدة هي كما يلي :

على مدى الاتجاه الطولي ٩٧ ديسيبل ، ٩٤ ديسيبل •

على مدى الاتجاه العرضي ٩١ ديسيبل ، ٨٩ ديسيبل •

على مدى الارتفاع ٩٦ ديسيبل ، لاشيء

احسب مستوى القدرة الكلية للصوت الصادر من هذه الوحدة (L_w) •

الحـــــل :

باستخدام العلاقة :

$$L_w = \sum_{i=1}^{n} [\, L_{p_i} + 10 \log S_i \,] \qquad (6-18)$$

$$\therefore \quad L_w = (97 + 10 \log (3.2 \times 7.4))$$

$$+ (94 + 10 \log (3.2 \times 7.4))$$

$$+ (91 + 10 \log (3.2 \times 5.5))$$

$$+ (89 + 10 \log (3.2 \times 5.5))$$

$$+ (96 + 10 \log (5.5 \times 7.4))$$

$$= (110.7 \text{ dB}) + (107.7 \text{ dB}) + (1o3.5 \text{ dB})$$

$$+ (101.5 \text{ dB}) + (112.1 \text{ dB})$$

وباضافة هذه المركبات بالاسلوب المتبع نحصل على :

القدرة الكلية للصوت الصادر من الوحدة عبارة عن :

$L_w = 116$ dB (بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات)

مثـــال (٦ـ٢) :

احسب مستوى الصوت المباشر (L_d) ومستوى الصوت الارتدادى (L_r) عند نقطتين (أ و ب) داخل غرفة حيث تبعد النقطة (أ) مسافة ٥ر١ متر ، النقطة (ب) مسافة ٥ر٧ متر عن فتحة التكييف بجدار الغرفة اذا فرض ان مستويـــات قدرة الصوت (L_w) الصادرة منها هى الموضحة بالجدول (٦ـ٤) :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
L_w (dB)	٤٢	٤٦	٥٨	٥٢	٥٠	٤٩	٤٤	٣٨

وان الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة "A" (دون اية اضافات كمعالجـة صوتية) هو ١٩ سابين مترى ٠

الحـــــل :

كما سبق ان رأينا فى حل مثال (٥ ـ ٤) صفحة (١٢٦) فان مستـوى الصوت المباشر (L_d) ومستوى الصوت الارتدادى (L_r) يمكننا حسابهما بالتعويـض فى المعادلتين :

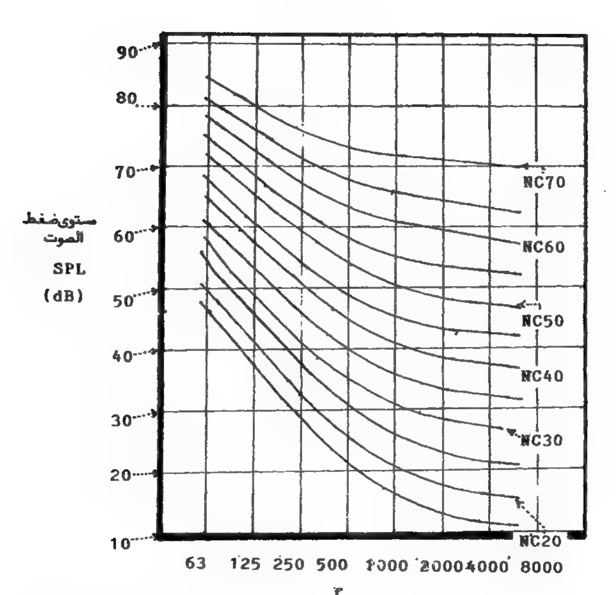
$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9 \qquad (5\text{-}13)$$

$$L_r = L_w - 10 \log A + 6 \qquad (5\text{-}14)$$

وبالجدول التالى النتائج التى نحصل عليها بذلك :

التردد	L_d		L_r		L_p	
	عند أ	عند ب	عند أ	عند ب	عند أ	عند ب
٦٣	٢٧٫٥	١٤	٣٥٫٤	٣٥٫٤	٣٦٫١	٣٥٫٤
١٢٥	٣١٫٥	١٨	٣٩٫٤	٣٩٫٤	٤٠٫١	٣٩٫٤
٢٥٠	٤٣٫٥	٣٠	٥١٫٤	٥١٫٤	٥٢٫١	٥١٫٤
٥٠٠	٣٧٫٥	٢٤	٤٥٫٤	٤٥٫٤	٤٦٫١	٤٥٫٤
١٠٠٠	٣٥٫٥	٢٢	٤٣٫٤	٤٣٫٤	٤٤٫١	٤٣٫٤
٢٠٠٠	٣٤٫٥	٢١	٤٢٫٤	٤٢٫٤	٤٣٫١	٤٢٫٤
٤٠٠٠	٢٩٫٥	١٦	٣٧٫٤	٣٧٫٤	٣٨٫١	٣٧٫٤
٨٠٠٠	٢٣٫٥	١٠	٣١٫٤	٣١٫٤	٣٢٫١	٣١٫٤

وبمقارنة هذه النتائج بمنحنيات "شرط عدم تجاوز مستويات الضوضاء" في حيز ما نجد أنها تقابل المنحنى برقم ٤٥ ديسيبل (NC-45) .



المنحنيات المعيارية لتحديد معدلات طيف ضوضاء معين • حيث يتم وضع قيم مستويات الصوت للطيف المعطى فوق هذه الخريطة فيكون معدل الضوضاء لهذا الطيف عبارة عن مايوضحه ادنى منحنى يلامس طيف الضوضاء •

شكل (٦-٩)

مثـــال (٦ـ٣) :

مروحة عدد الريش بها ١٤ من النوع المقوس الى الخلف بقُطر ٩٦ر٠ متـــــــو وتبعا للجداول القياسية لمثل هذا القطر فان الطيف الضوضائى الصادر منها يتميــــــز بمستويات قدرة صوت (L_W) بالنسبة لقدرة عيارية قدرها واحد بيكو وات عبــــــارة عما يأتى :

التردد	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	هيرتز
L_W	٨٢	٨١	٨٠	٧٨	٧٧	٧٥	٦٧	٥٦	ديسيبل

فاذا فرض انها تدور بمعدل ٥ر١١ لفة فى الثانية الواحدة • والضغط الكلـــــى بها ٧ر١ كيلو باسكال بينما معدل تدفق الهواء عبرها يساوى ٢٢ متر مكعب فى الثانية الواحدة :

المطلوب :

أ ـ حساب مستوى الضوضاء الكلى الصادر من المروحة فى ظروف التشغيل المعطاه •

ب ـ بفرض ان فوهتى المروحة الخاصة بمرور الهواء خلالها متشابهتين احســـــــب مستوى الضوضاء الصادر من اى منها على حدة •

حـ ـ بفرض ان معدل الدوران ازداد الى ٢ر١٤ لفة فى الثانية الواحدة وان مجموعـــة الريش استبدلت بأخرى بنفس العدد ولكن بقُطر ١ر١ متر • احسب الضوضــاء الكلية الصادرة من المروحة فى هذه الحالة • على فرض ان الضغـــــــــط

الكلى مقداره ثابت كما ان مجموعة عزل الذبذبات لم تستبدل ٠

الحــــل :

(أ) لحساب مستوى الضوضاء يجب اولا حساب الحد (term) المفــــروض اضافته ــ ولنرمز له بالرمز $(C)_{Q,P}$ ــ بسبب ظروف التشغيل مــن ناحية معدل تدفق الهواء (Q) والضغط الكلى (P) عبر المروحــة٠ وهو كما يلى :

$$(C)_{Q,P} = 10 \log Q + 20 \log P \qquad (6\text{-}19)$$

$$= 10 \log (22) + 20 \log (1.7)$$

$$= 13.4 + 4.6 = 18 \text{ dB}$$

ثانيا حيث ان تردد حركة المروحة يساوى حاصل الضرب (عدد لفاتها فــــى الثانية × عدد الريش التى تشملها) = (١١٫٥ × ١٤) اى ١٦١ هيرتــــز فهذا يعنى انه ضمن الشريط الترددى الذى مركزه ١٢٥ هيرتز وعلينـــــا اذا

اضافة ٣ ديسيبل للمستوى المقابل لهذا الشريط دون اضافة اى شيء لباقـــــي مدى التردد ــ وهذا العدد يعرف بالزيادة الخاصة بتردد ريش المروحة (BFI) وله جداوله الخاصة (Blade Frequency Increment Tables) .

وبذلك تكون مستويات الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة على مدى الشريـــــط الترددى كله كما يلى :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة (ديسبل)	١٠٠	١٠٢	٩٨	٩٦	٩٥	٩٣	٨٥	٧٤

(ب) للحصول على مستوى الضوضاء الصادرة من احدى فوهتى المروحة (بفـــــرض تساويهما) علينا فقط ان نطرح مقدار ٣ ديسيبل من المستويات التى حصلنــــا فى الجدول السابق عليها ٠ وهذا يعنى المعطيات بالجدول التالى :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى الضوضاء الصادرة من اى من فوهتـــــى المروحة (ديسيبل)	٩٧	٩٩	٩٥	٩٣	٩٢	٩٠	٨٢	٧١

(هـ) العلاقة بين مستوى قدرة الصوت وقطر المروحة (2 R) وعدد اللفـــــات في الثانية (n) عبارة عن :

$$(L_W)_2 = (L_W)_1 + 70 \log (R_2/R_1) + 50 \log (n_2/n_1) \qquad (6-20)$$

فعلى سبيل المثال عند التردد ٦٣ هيرتز $(L_W)_1$ = ١٠٠ ديسيبـــــــل •

اذا :

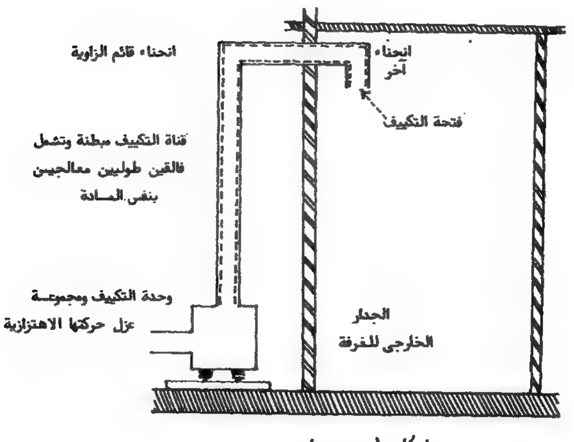
$$(L_W)_2 = 100 + 70 \log (1.1/0.96) + 50 \log (14.2/11.5)$$

$$= 100 + 4.1 + 4.6 = 108.7 = 1o9 \text{ dB}$$

وهكذابالنسبة لباقى الجدول •

مثــال (٦ـ٤) :

وحدة تكييف مجهزة لتخدم غرفة باحد العيادات الطبية بالمواصفات التاليـــة هى والظروف البيئية المحيطة بها :



شكل (٦ - ١٠)

- المروحة تعمل باسلوب الطرد المركزي بقدرة ٢٢ قدرة حصان •
- الضوضاء بالطريق العام يبلغ مستواها ٨٣ ديسيبل بالقرب من فتحة دخــــول الهواء للجزء الأول " الغير مبطن " من قناة التكييف والممتد من خـــــارج المبنى الى مدخل المروحة •
- الجزء الآخر من قناة التكييف الواصل بين فوهة خروج الهواء من المروحة وفتحة التكييف بالغرفة مُبطن بمادة لها معامل امتصاص للطاقة الصوتية (عنـــــــد تردد ٥٠٠ هيرتز) قيمته ٧٢ر٠ ويبلغ طوله الاجمالي (٦ر٨ متر) ويشمل انحناءين كل منهما قائم الزاوية • كما ان هذا الجزء المبطن ينقسم تجويفــــه طوليا بقالقين مبطنين بنفس المادة (α = ٧٢ر٠) المستخدمة فــــى تبطين جداره الداخلي •
- مساحة مقطع القناة (٢ر١ متر x ٥ر٠ متر) •
- فتحة التكييف بالغرفة مُركب عليها شبكة يبلغ انحدار الضغط (P) عبّرهـــا (٣٢ر٠ ملليمتر ماء) •
- الامتصاص الكلي (A) للطاقة الصوتية بالغرفة يساوي ١٨ سابين متري •

والمطلوب حساب مستوى الصوت الارتدادي داخل الغرفة :

(أ) نتيجة الضوضاء " المتسللة " من خارج المبنى الى داخل الغرفة عبر وحـــــدة التكييف : (نتيجة الضوضاء من خارج المبنى (L_r)) •

(ب) نتيجة الضوضاء المتولدة من تشغيل وحدة التكييف :

[نتيجة تشغيل وحدة التكييف (L_r)] .

(حـ) نتيجة الضوضاء المتولدة عبر شبكة فتحة التكييف :

[من الشبكة (L_r)] .

(د) نتيجة تواجد هذه الضوضاء مجتمعة مع بعضها داخل الغرفة :

[$(L_r)_{tot}$] .

الحـــل :

(أ) لحساب [نتيجة الضوضاء من خارج المبنى (L_r)] نطبـــــــــــــق المعادلة (6-17) :

$$(L_r)_{\text{نتيجة الضوضاء من خارج المبنى}} = L_1 - R + 10 \log S - 10 \log A + 6 \qquad (6-17)$$

حيث :

L_1 = مستوى الضوضاء خارج المبنى عند بداية القناة = ٨٣ ديسيبل ،

R = الخفض الكلى لمستوى الصوت أثناء مرور الضوضاء عبر وحدة التكييـــــــف

وهو يساوى الخفض الناتج من المرور فى الانحنائين (مجموعهـــــــــا

نفترض انه ١٠ ديسيبل) مضافا اليه الخفض الناتج اثناء مرور الضوضـــاء

خلال التجويفات الثلاثة بقناة التكييف $[\ (R)_{duct}\ ]$

وهذه عبارة عن (بالاستعانة بمعادلة) :

$$(R)_{duct} = (6.8)\ [\ \frac{(0.72)^{1.4}\ .\ (2.4)}{0.35}$$

$$= (6.8)\ .\ (4.33) = 29.5 \quad dB$$

$$\therefore\ R = 10 + 29.5 = 39.5 \quad dB$$

، S = المساحة الكلية لمقطع القناة = ٠٥ر١ متر٢ .

، A = الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة = ١٨ سابين مترى .

$$\therefore\ (L_r)_{\text{نتيجة الضوضاء من خارج المبنى}} = 83 - 39.5 + 10 \log (1.05)$$

$$- 10 \log (18) + 6$$

$$= 37.2 \quad dB$$

(ب) لحساب [نتيجة تشغيل وحدة التكييف (L_r)] علينـــا اولا ايجاد مستوى الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة [عند المروحة (L_T)] نتيجة تشغيل وحدة التكييف وهذا يتم بتطبيق المعادلة :

$$(L_T)_{\text{عندالمروحة}} = 97 + 10 \log (H.P.) - 10 \log (10.8\ S)$$

$$= 97 + 10 \log (22) - 10 \log (10.8 \times 1.05)$$

$$= 97 + 13.7 - 10.55 = 99.9 \quad dB$$

ومن هذه الضوضاء الكلية التى مستواها (99.9 dB) علينا ايجـــاد الجزء المقابل للتردد ٥٠٠ هيرتز كما جاء برأس المسألة ٠ وبالرجوع الى شكلى (٦ — ٣) نجد انه علينا طرح ما قيمته ١٦ ديسيبل لنحصل على قيمـــة مستوى الضوضاء المقابلة للتردد ٥٠٠ هيرتز [عندالمروحة (L_{500})] :

$$\therefore (L_{500})_{\text{عندالمروحة}} = 99.9 - 16 = 83.9 \quad dB$$

وبتعيين عند المروحة (L_{500}) نحسب [نتيجة تشغيل وحدة التكييف (L_r)]

من المعادلة (٦-١٢) مرة اخرى :

$$(L_r)_{\text{نتيجة تشغيل وحدة التكييف}} = (L_{500})_{\text{عند المروحة}} - R + 10 \log S - 10 \log A + 6$$

$$= 83.9 - 39.5 + 10 \log (1.05) - 10 \log (18) + 6$$

$$= 37.7 \quad dB$$

(حـ) هنا ايضا لحساب $[(L_r)_{\text{من الشبكة}}]$ علينا اولا ايجاد مستوى الضوضاء الكلية المتولدة عبر الشبكة $[(L_T)_{\text{من الشبكة}}]$. ولهذا الغرض نطبق المعادلة :

$$(L_T)_{\text{من الشبكة}} = L_1 + 10 \log S - 10 \log A + 10 \log (P/25)$$

$$= 83 + 10 \log (1.05) - 10 \log (18) + 10 \log (0.32/25)$$

$$= 51.7 \quad dB$$

وللحصول على مستوى الضوضاء [(L_{500}) من الشبكة] المقابل للتـــردد ٥٠٠ هيرتز نطرح ٢٥ ديسيبيل كما يدلنا على ذلك الجدول التالى :

جدول (٦ـ٥)

عدد الديسيبيل الواجب طرحها (DBS) من مستوى الضوضاء الاجمالية للشريط الترددى كله الصادرة من شبكة التهوية تبعا للتردد لينتج المستوى المقابل له

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
DBS (ديسيبل)	٣٤	٣٤	٣٢	٢٥	١٩	١٤	٦	٢

$\therefore (L_{500})$ من الشبكة $= 51.7 - 25 = 26.7$ dB

(د) مستوى الصوت الارتدادى الاجمالى الناتج عن الضوضاء الخارجية وضوضـــــاء تشغيل وحدة التكييف وضوضاء شبكة التهوية [$(L_r)_{tot.}$] نحصل عليه بتطبيق اسلوب جمع الديسيبيل الذى طبقناه عدة مرات . وفى هـــــذه

المسألة يؤدى اليه

$$(L_r)_{tot} = "\{37.2\}" + "\{37.7\}" + "\{26.7\}"$$

$$= 40.6 = 41 \quad dB$$

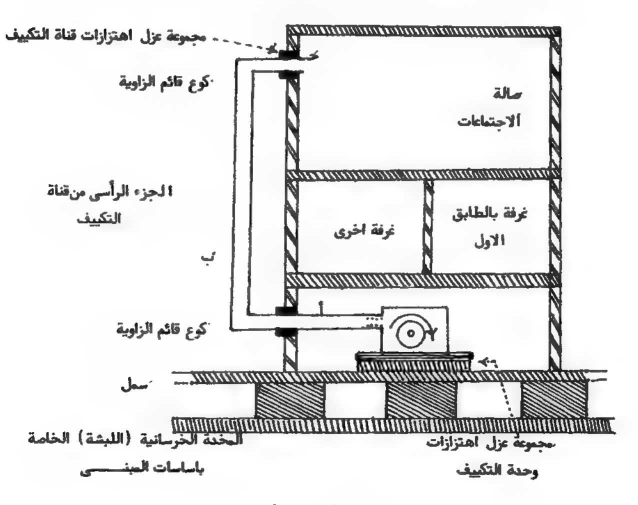
مثـــال (٦ـ٥) :

وحدة تكييف تم تركيبها بالطابق تحت الارضى بمبنى ادارى لخدمة غرفة كبيـــرة للاجتماعات بالطابق الثانى تبعا للمواصفات التالية :

(أ) المروحة من النوع الذى يعمل باسلوب الطرد المركزى بمستويات قدرة (L_w) (بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات) كالتالى :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
L_w (ديسيبل)	٧٧	٧٦	٧٩	٦٨	٦٥	٦٢	٥٧	٥٣

(ب) القناة الرئيسية تبدأ من فوهة المروحة(راجع شكل (٦ - ١١)) باتســــاع (٤٨ سم × ٦٠ سم) ومبطنة بمادة غير قابلة للاحتراق بحيث ان الخفــض عبر كل متر منها كان (٦ر٠ ديسيبل) للترددين (٦٣ ، ١٢٥ هيرتز) ، بينما قيمة (٤٥ر٠ ديسيبل) عند التردد ٢٥٠ هيرتز.اما لبقية المدى الترددى فكان الخفض بقيمة (٣ر٠ ديسيبل لكل متر) . والجزء أ منها يتجه افقيـــا



شكل (٦ـ ١١)

بطول ٦ر٥ متر وينتهي بكوع قائم الزاوية اتساعه (٦٠ سم) يخرج منه الجزء ب من القناة الرئيسية متجها رأسيا بطول ١١ر٥ متر وفي نهايته كوع قائم الزاوية باتساع ٦٠ سم ايضا ويتفرع منه افقيا الجزء حـ باتساع (٣٠ سم × ٣٠ سم) منتهيا بفتحة التهوية بأحد جدران صالة الاجتماعات بالدور الثاني من المبنى وكان بطول ١٥٠ سم • وتبعد عن السقف مسافة ١١٠ سم •

والمطلوب معرفة ما اذا كانت مستويات الضوضاء الناتجة عن هذه المجموعة تتفق مع (NC-30) أم لا •

الحـــل :

نبدأ بحساب الخفض الناتج عبر اجزاء القناة أ ، ب ، حـ بين فوهة المروحة وفتحة التهوية ولهذا الغرض نطبق خطوات مماثلة لما أجريناه في المثال السابق •
والجدول التالي يلخص جميع النتائج الخاصة بالمثال الحالي :

التردد	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
L_w	٧٧	٧٦	٧٩	٦٨	٦٥	٦٢	٥٧	٥٣
الخفض عبر أو ب.و حـ	١١ر٢	١١ر٢	٨ر٨	٥ر٩	٥ر٩	٥ر٩	٥ر٩	٥ر٩
الخفض عبر الكوعين	صفر	٢	٨	٨	٦	٦	٦	٦
الخفض نتيجة التفريع	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨
الخفض نتيجة الانعكاس عند فتحة التهوية	٦	٣	١	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
مجموع الخفض	٢٦	٢٥	٢٦	٢٢	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠
مستوى قدرة الصوت عند فتحة التهوية	٥١	٥١	٥٣	٤٤	٤٥	٤٢	٣٧	٣٣
مستوى ضغط الصوت (بطرح ٨ ديسيبل)	٤٣	٤٣	٤٥	٣٦	٣٧	٣٤	٢٩	٢٥

وبمقارنة هذه النتائج بمنحنيات " شرط عدم تجاوز مستويات الضوضاء " نجـــد
أنها تتفق مع المنحنى (NC-30)

مثـــال (٦-٦) :

قاعة محاضرات مصممة كما هو مبين بالرسم التوضيحي بشكل (٦- ١٢) .

ومفترض ان لديها المواصفات التالية :

الحجم الكلى = ١٢٨٥ متر٣

عدد المقاعد (خشبية بدون تنجيد) = ٤٨٠

حجم الحيز الذى يشغله كل مقعد = ٢ر٠ متر٣ .

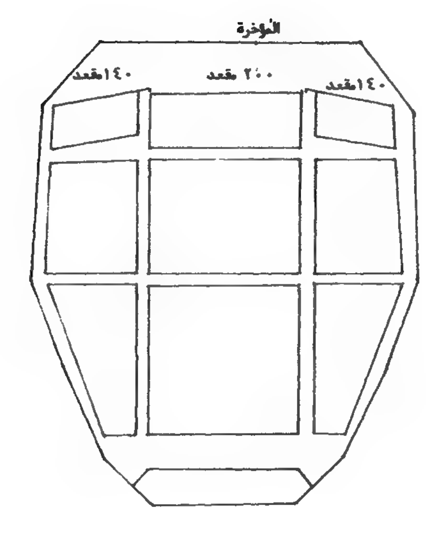
مجموع مساحتى الجدار الامامى والجدار الخلفى (مغطاه بالكامل بالواح خشبيـة دون فواصل بينها) = ٤ر١٢٢ متر٢

مجموع مساحتى الجدار الايمن والجدار الايسر (نصف هذه المساحة عبارة عن شبابيـك زجاجية سمك الواحها ٦ر٠ سم - وبقية المساحة مغطاه ايضا بالواح خشبيـة)
= ٤ر١٥٠ متر٢

نسبة شغل المقاعد بالحاضرين = ٣/٤

مساحة الارضية = مساحة السقف = ٢٥٧ متر٢

سطح الارضية بلاط مغطى بشمع سميك - بينما السقف مبطن بطبقة مصيص ومعامـــل الامتصاص للجزئيات المختلفة هى كالتالى :



نموذج لقاعة المحاضرات الذى يتسم بشكل

" شبيه البيضة "

التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
لطبقة البلاط	٠ر١٥	٠ر٠٣	٠ر٠٥	٠ر١٢	٠ر١٠
لطبقة المصيص	٠ر٢٥	٠ر٢٠	٠ر١٥	٠ر٠٥	٠ر٠٤
لالواح الزجاج ٦ مم	٠ر١٠	٠ر١٠	٠ر٠٤	٠ر٠٣	٠ر٠٢
لالواح الخشب	٠ر٤٠	٠ر٢٥	٠ر١٥	٠ر١٢	٠ر١٠

ويخدم هذه القاعدة وحدة تكييف لها المواصفات التالية :

أ ـ المروحة الخاصة بها ذات مستويات قدرة صوتية على مدى الشريط الترددى كما يلى :

التردد	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى قدرة الصوت للمروحة	٨٠	٧٩	٨٢	٧١	٦٨	٦٥	٦٠	٥٦

ب ـ القناة الرئيسية بطول اجمالى ١٨ متر بين فوهة المروحة وفتحة التكييف المثبتة بمركز سقف القاعة (هذه الفتحة تبعد مسافة ١٥ سم منه) •

حـ ـ مساحة مقطع القناة الرئيسية ـ وهى غير مبطنة عند اى جزء منها ـ ٥ر٠ متر × ٦ر٠ متر •

د ـ القناة تشتمل على ثلاث انحناءات كل منها قائم الزاوية ويتميز بأن مستوى الصوت ينخفض بمقدار ٤ ديسيبل نتيجة المرور عبّره ـ وذلك عند كل تردد على مدى الشريط الترددى بأكمله •

والمطلوب :

اولا : حساب زمن الارتداد الخاص بهذه القاعدة تحت هذه الظروف المفترض تواجدها •

ثانيا : حساب مستوى الضوضاء داخل القاعة نتيجة تشغيل وحدة التكييف ومقارنتـــــه بمستويات الضوضاء التي تقابل المنحنى (NC-30)

الحـــــل :

اولا : الخطوات والنتائج الخاصة بحساب زمن الارتداد بالقاعة تلخصها في الجـــــدول التالي (بالنسبة للمدى (١٢٥ هيرتز ــ ٢٠٠٠ هيرتز) تبعا للبيانات المعطاه) :

الكمية الفيزيائية / التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
الامتصاص الناتج من الجزء الزجاجي من الجدارين الايمن والايسر "سابين متري"	٧ر٥٢	٧ر٥٢	٣ر٠٤	٢ر٣٠	١ر٥٠
الامتصاص الناتج من الجزء الخشبي من الجدارين الايمن والايسر "سابين متري"	٣٠ر١٠	١٨ر٨٠	١١ر٣٠	٩ر٠٠	٧ر٥٢
الامتصاص الناتج من الجدارين الامامي والخلفي "سابين متري"	٤٩ر٤٠	٣٠ر٦٠	١٨ر٤٠	١٤ر٧٠	١٢ر٢٠
الامتصاص الناتج من سقف القاعة "سابين متري"	٨٩ر٢٥	٧١ر٤٠	٥٣ر٥٥	١٧ر٨٥	١٤ر٢٨
الامتصاص الناتج عن ارضية القاعة "سابين متري"	٥ر٣٦	١٠ر٧١	١٧ر٨٥	٤٢ر٨٤	٣٥ر٧٠
الامتصاص الناتج عن المقاعد المشغولة "سابين متري"	٤٦	٤٦	٩٢	٩٢	١٠٩
الامتصاص الناتج عن المقاعد الغير مشغولة "سابين متري"	٠ر٩٦	١ر٢٠	١ر٨٠	٢ر١٦	٢ر٤٠

الكمية الفيزيائية / التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
الامتصاص الناتج عن هواء الغرفة "سابين مترى"	ـ	ـ	ـ	ـ	٩ر٠٠
الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة (A) " سابين مترى "	٢٢٨ر٦	١٨٦ر٢	١٩٧ر٩	١٨٠ر٩	١٩١ر٦
زمن الارتداد داخل الغرفة عند كل تردد (T_r) ثانية = ٠ر١٦١ × حجم الغرفة / الامتصاص الكلى	٠ر٩١	١ر١٠	١ر٠٥	١ر١٤	١ر٠٨

ثانيا : بالنسبة لحساب مستوى الضوضاء داخل قاعة المحاضرات نتيجة تشغيل وحدة التكييف المجهزة لخدمتها فانه باتباع الذى استخدم لحل مثال (٦ ـ ٥) نلاحظ أن :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى قدرة الصوت عند فوهة المروحة (ديسيبل)	٨٠	٧٩	٨٢	٧١	٦٨	٦٥	٦٠	٥٦
الخفض الناتج من مرور عبر القناة الرئيسية (ديسيبل)	١٢	١٢	٦	٣	٣	٣	٣	٣
الخفض الناتج من عبور الصوت خلال الثلاث انحناءات (ديسيبل)	٣	٣	١٢	١٢	٩	٩	٩	٩
الخفض نتيجة انعكاس الصوت عند فتحة التكييف (ديسيبل)	٦	٣	١	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى "قدرة الصوت" عند فتحة التكييف (ديسيبل)	٥٩	٦١	٦٣	٥٦	٥٦	٥٣	٤٨	٤٤
مستوى الضوضاء عند فتحة التكييف (وذلك بطرح ٨ ديسيبل من مستوى قدرة الصوت عند فتحة التكييف)	٥١	٥٣	٥٥	٤٨	٤٨	٤٥	٤٠	٣٦
مستوى الضوضاء عند فتحة التكييف مع أخذ قُربها من سقف القاعة في الاعتبار (بإضافة ٣ ديسيبل)	٥٤	٥٦	٥٨	٥١	٥١	٤٨	٤٣	٣٩

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
المستويات التي تقابل (NC-30)	٥٧	٤٨	٤١	٣٥	٣١	٢٩	٢٨	٢٧
الزيادة فى خفض مستوى الضوضاء اللازم الحصول عليها لتتفق مع شـرط (NC-30)	صفر	٨	١٧	١٦	٢٠	١٩	١٥	١٢

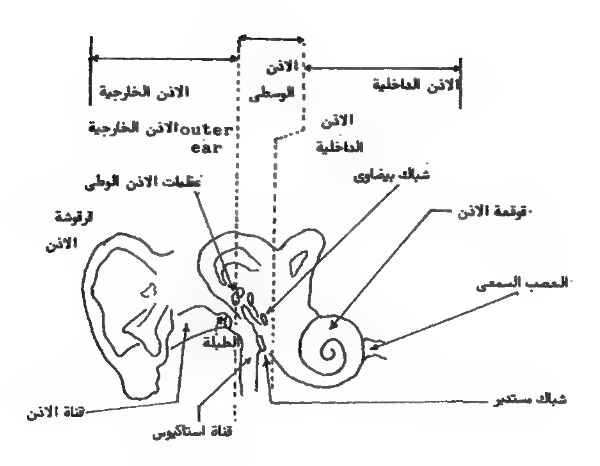
وهذا يمكن تحقيقه بتبطين قناة التكييف أو تزويدها بوحدة تخفيض للصـــوت ـ دون ان نغير فى قيمة الامتصاص الكلى (A) داخل القاعة حتى لايحدث تغير فى قيـــم زمن الارتداد T_{60} .

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب السـابــــع

موجز لبعض نتائج المشاهدات التى اوضحت الآثار الجانبية للضوضاء على صحة المستمع

اثناء الدراسة التى تسبق المرحلة الجامعية يتم بشيء من التفصيل توضيـــــح وظائف الاجزاء الثلاث الرئيسية التى تتكون منها الأذن : الأذن الخارجية ـ الاذن الوسطى ـ الأذن الداخلية ـ وشكل (٧ـ١) عبارة عن رسم مبسط لتوضيح هـــــذه الأجزاء • كما ان هذه الدراسة اوضحت انه عند سقوط الموجات الصوتية علـــــــى الأذن الخارجية تنتج حركة اهتزازية لغشاء طبلة الأذن • وبالتالى يتم نقل هـــذه الحركة عبّر المطرقة التى تكونها عظيمات الأذن الوسطى الى المدخل البيضاوى لـــلأذن الداخلية فيبدأ السائل المائى الذى يحويه تجويفها بنقلها وعن طريق قوقعـــــه الاذن تصل هذه الاهتزازات الى الياف العصب السمعى ومنه الى المراكز السمعية بالمـــخ • ولوحظ ان استجابة القوقعة تعتمد على التنبيهات التى يعتريها تبعا لتردد تلـــــك الاهتزازات •



الأجزاء الرئيسية التى تتركب منها الأذن

شكل (٢ـ١)

ومن فضل الله سبحانه وتعالى ان وهب لخلقه اذنين اثنتين ثبت بالقياسات المعملية انهما معا قادرتان على التعرف على اصوات مستواها اقل بحوالى ٣ ديسيبل عن قدرة اى منهما بمفردها ٠

فى الباب الثالث ألمحنا الى أن المقصود بما يسمى " عتبة الاحساس بوجود صوت ما " أو " عتبة السمع " عبارة عن اقل مستوى لضغط الصوت الذى يستطيع ان يُثير حاسة السمع ٠

هذه العتبة وجد بالتجربة انها تعتمد على عوامل عديدة أهمها :

- تردد الصوت ٠
- اسلوب استقبال المستمع لهذا الصوت : هل هو عن طريق سماعات اذن - مكبر صوتى - شخص يتحدث له مباشرة ٠٠٠ الخ ٠
- نقطة استقبال الصوت ٠
- الضوضاء الخلفية المتواجدة فى المجال المحيط بالمستمع ٠

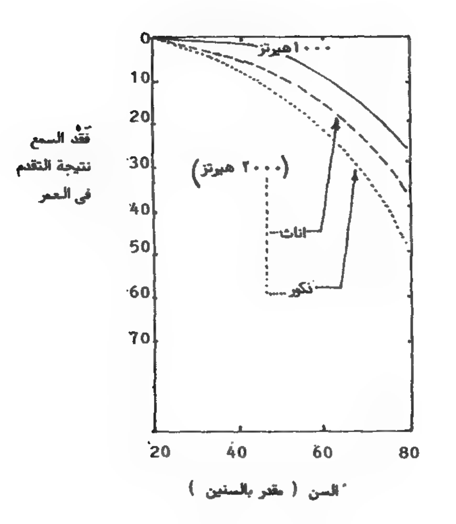
واذا اعتبرت عتبة السمع لشخص عادى عمره ٢٥ سنة كمقياس عيارى على مدى العمر وجد انه يحدث ازاحة عنها مع التقدم فى السن ٠ فعلى سبيل المثال : عند تردد ٢٠٠ هيرتز اذا كانت عتبة السمع ١٤ ديسيبل بينما شخص تجرى له اختبارات قدرة السمع لايستطيع سماع هذه النغمة الا اذا كان مستواها ٧٦ ديسيبل يقال ان هذا الشخص من " فَقْد سَمْع " - عند تردد ٢٠٠ هيرتز -

مقداره ٦٢ ديسيبل ٠ مثال آخر ـ عند تردد ١٠٠٠ هيرتز ـ اذا كان محتـــــاج
رفع مستوى الصوت الى ٤٩ ديسيبل حتى يستطيع سماع هذه النغمة فانه بالمقارنــــة
لعتبة السمع ٤ ديسيبل عند هذا التردد يقال ان هذا الشخص يعانى من " فقـــد
سمع " قدره ٤٥ ديسيبل ٠

ويوضح شكل (٧ـ٢) المعدل المتوسط لفقد السمع للجنسين نتيجة التقـدم
فى العمر حيث يتضح أيضا ان الرجال اكثر من النساء فى فقد حساسية السمـــــــع
تدريجيا مع التقدم فى العمر ٠

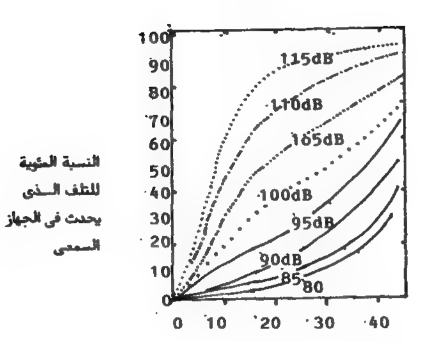
وكما اشرنا قبل ذلك يمكن اعتبار هذه الظاهرة احد التغيرات الفسيولوجية التى
تحدث كنتيجة طبيعية للتقدم فى العمر بشرط ان الشخص يتجنب التعرض لمستويات
عالية من الاصوات ٠ لان مثل هذا التعرض ينتج عنه تهديد بفقد القدرة على السمـــع
وذلك بنسب متفاوته تعتمد على مستوى الضوضاء بالطبع كما يتضح من شكـــــــــل
(٧ ـ ٣) ٠

اما اذا كانت الظروف المتواجد فيها المستمهوف تعرضه لاستقبال ضوضـــــاء
عالية المستوى بمعنى انها تتعدى المستويات المسموح بها ـ كدالة للتردد ـ والموضحة
فى جدول (٧ـ١) ٠



تغير القدرة على السمع مع التقدم فى السن

شكل (٧ـ٢)



عدد سنين التعرض لمستويات
الصوت المختلفة والتى تهـدد
بحدوث التلف للجهـــــــاز
السمعى

تهديد الضوضاء بتلف القدرة على السمع
قبال سنوات التعرض لهذه الضوضاء

شكل (٧ـ٢)

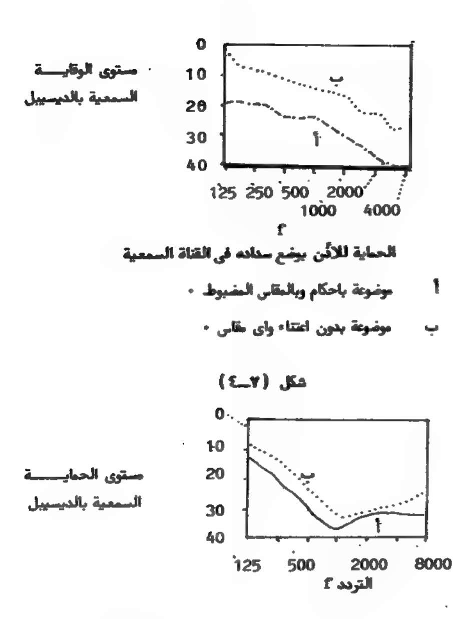
التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
المستوى الذى يجب عدم تجـــاوزه (ديسيبل)	٩٧	٩٣	٩٠	٨٥	٨٥	٨٠	٨٠

فيجب عندئذ أن يتم حماية الأذنين بواسطة أحد الوسائل التالية :

ـ وضع سدادات داخل القناة السمعية ـ على ان تكون محكمة وتتلائم مع طبيعـة القناة السمعية اذ أنها تتفاوت كثيرا من شخص لآخر • ويوضح شكــــل (٧ـ٤) الفرق فى مستوى كفاءة الأداء بين استخدام سدادات موضوعــة باحكام عن ما اذا وضعت بدون اعتناء •

ـ وضع مخدات صغيرة على الأذنين • وهنا أيضا يراعى حقيقة الفرق فـــى الأداء اذا تم وضعها دون لبس نظارة أو مع لبس النظارة • وهذا موضـــح بشكل (٧ـ٥) •

ـ لبس خوذة كاملة على الرأس ومغطية الاذنين تماما •



الحماية للأذن بوضع سدادة في القناة السمعية

أ موضوعة باحكام وبالمقاس المضبوط .

ب موضوعة بدون اعتناء واى مقاس .

شكل (٢ـ٤)

مستوى الحماية للاذن من وضع مخدات صغيرة عليها

أ بوضعها دون لبس نظارة .

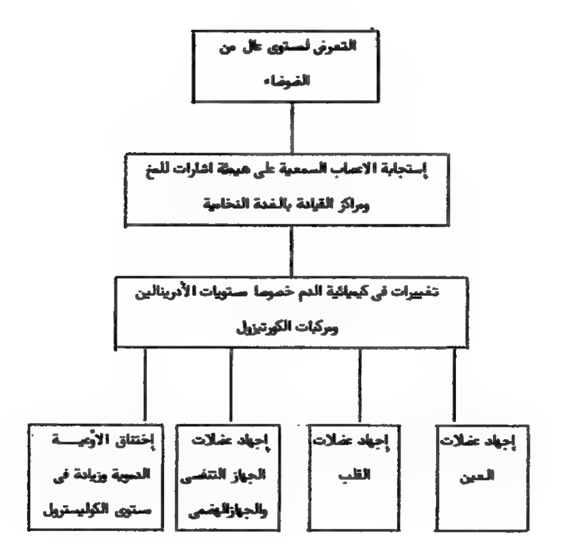
ب مع لبس نظارة .

شكل (٢ـ٥)

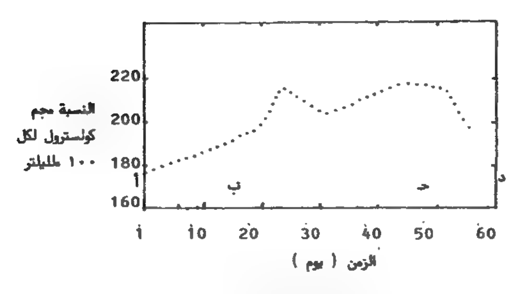
ولقد لوحظ انه بجانب الذى يمكن ان يحدث مباشرة وبصورة ملموسة لجهاز السمع نتيجة التعرض للضوضاء هناك آثار جانبية أخرى عديدة على مختلف اجزاء الجسم ولكن الصعوبة فى تحليلها علميا هو ضرورة فصلها عن الآثار الجانبية التى قد تنجم فى نفس الوقت من مؤثرات أخرى مثل التدخين وتلوث البيئة ... الخ. فعلى سبيل المثال فى احد التجارب لدراسة تلك الآثار الجانبية للتعرض للضوضاء تم مقارنة مجموعتين من العاملين (كل مجموعة ٨٠٠ عامل) فى احد المصانع الحربية الأوروبية احداهما تشتغل فى مجال مستوى الضوضاء به (٩٥ ديسيبيل) والاخرى تشتغل فى مجال مستوى الضوضاء به (٨٠ ديسيبيل) فاتضح مايلى :

- المجموعة (٩٥) تعرضت لكثير من المشاكل المرضية وتعدد الغياب عن العمل . كما تعرضت لكثير من الحوادث فى العمل . وذلك بصورة ملحوظة تماما عن المجموعة (٨٠) .
- آلام فى الصدر ومتاعب فى التنفس وجهازه عموما .
- حساسية غير عادية مع شكاوى فى اداء الدورة الدموية والقلب وآلام فى المفاصل والجهاز الهضمى .
- ضيق فى مجال الرؤية والقدرة على تمييز الالوان .

والخريطة التالية لتتبع التأثيرات الضارة للتعرض للمستويات العالية من الضوضاء تلخص احد التفسيرات العلمية لما يحدث بالجسم نتيجة هذا التعرض :


التعرض لمستوى عال من
الضوضاء
إستجابة الاعصاب السمعية على هيئة اشارات للمخ
ومراكز القيادة بالغدة النخامية
تغييرات في كيميائية الدم خصوصا مستويات الأدرينالين
ومركبات الكورتيزول
إجهاد عضلات
العين
إجهاد عضلات
القلب
إجهاد عضلات
الجهاز التنفسى
والجهاز الهضمى
إختناق الأوعيـــة
الدموية وزيادة فى
مستوى الكوليسترول

ومن المشاهدات التجريبية التي تساعد على تبني هذا التصور النماذج الموضحـــة باشكال (٧ـ٦) و (٧ـ٧) و (٧ـ٨) و (٧ـ٩) و (٧ـ١٠) و (٧ـ١١) ، لبعض القياسات المعطية تحت ظروف مدروسة بالنسبة للضوضاء والهدوء :



متوسط مستوى الكوليسترول قبل واثناء وبعد التعرض

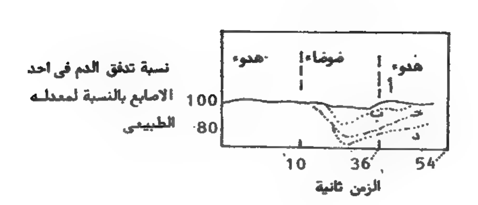
لمستويات ٨٠ و ٨٥ و ٩٠ ديسيبل

ـ الفترة أ ب : قبل التعرض لأى ضوضاء

ـ الفترة ب حـ : اثناء التعرض للضوضاء بمستوياتها الثلاث ;
على التتابع (١٠ ايام فترات متتابعة) •

ـ الفترة حـ د : فترة راحة •

شكل (٧ـ٦)



أ ٥٤ ديسيبل

ب ٧٤ ديسيبل

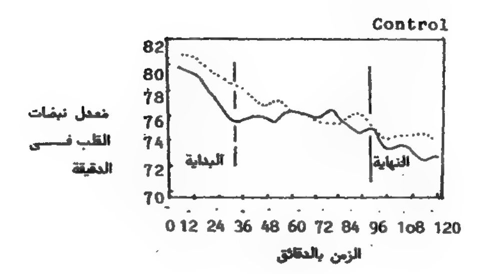
حـ ٩٤ ديسيبل

د ١٠٢ ديسيبل

التغير فى الدورة الدموية لسطح الجلد

نتيجة التعرض للضوضاء

شكل (٧ـ٧)

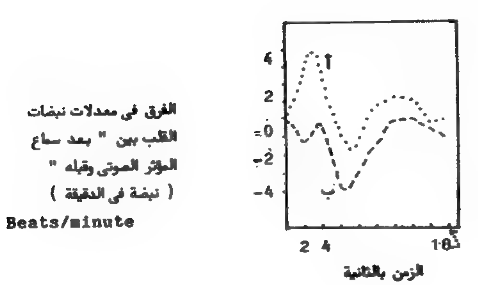


تأثير التعرض لضوضاء لمدة ساعة فى اليوم بعد فترة راحة

لمدة ساعتين ٠ على معدل نبضات القلب

ومقارنة ذلك بالمعدل الخاص باشخاص لم يتعرضوا لأى ضوضاء

شكل (٧ـ٨)

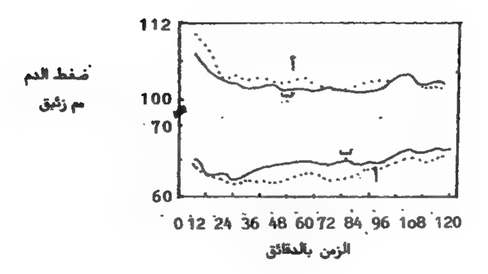


متوسط التغير في معدل ضربات القلب (نبضات في الدقيقة) بالنسبة
لما كان عليه قبل التعرض للمؤثر الصوتي
مقاسا بعد فترات متساوية " واحد ثانية " من بدء مثير صوتي

(أ) اصدر صوت متسع المدى الترددى او :

(ب) بتردد ١٠٠٠ هيرتز لمدة ٥ ثوان مستوى ضغط ٨٥ ديسيبل .

شكل (٧ـ٩)



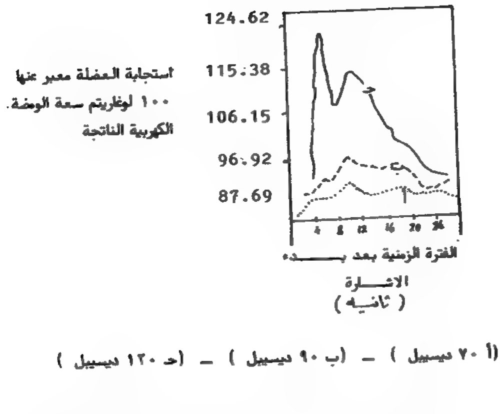
تأثير التعرض لضوضاء لمدة ساعة فى اليوم بعد فترة راحة لمدة ساعتين

على مستوى ضغط الدم (الانبساطى والانقباضى) ومقارنة ذلك بالمستويات

الخاصة بأشخاص لم يتعرضوا لأى ضوضاء

أ (أشخاص تعرضوا للتجربة) — ب (أشخاص عاديون للمقارنة بهم)

شكل (٧ـ١٠)



(أ ٧٠ ديسيبل) ـ (ب ٩٠ ديسيبل) ـ (حـ ١٢٠ ديسيبل)

منحنيات توضح استجابة عضلة الذراع الايسر لنغمة (١٠٠٠ هيرتز)

عند ثلاث مستويات مختلفة

شكل (٧ـ١١)

تم بحمد الله سبحانه وتعالى

عبد الرحمن فكرى

السبت ١٢ ربيع أول ١٤١٥

٢٠ اغسطس ١٩٩٤

قائمة بأسماء المراجع الرئيسية التي استفاد منها المؤلف
في اعداد الكتاب الحالى

---

1. Acoustical Society of American Standards "Test-Site Measurement of Maximum Noise emilted by Engine-Powered Equipment" 1975

2. ASHREA (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Handbook and Products Directory, Fundamentals Volume. 1975

3. Ibid, Systems Volume 1976

4. ASHREA GUIDE. 1988

5. P. BAADE, "Noise Control Engineering" 1976

6. L, BERANEK (ed.), "Noise Reduction" 1960

7. W. BURNS, "Noise and Man" 1973

8. C. HARRIS and C. CREDE (ed.), "Shock and Vibration Handbook" 1976

9. A.R. FIKRY HASSAN, "Waves and Vibrations" 1967

10. F. INGERSLEV, "Acoustics in Modern Building Practice". 1962

11. K. KNUDSEN and C. HARRIS, "Architectural Acoustics" 1965

12. P. PARKIND and H. HUMPHREYS, "Acoustics, Noise, and Buildings" 1980

13. P. PARKIN, H. PURKIS, and W. SCHOLES, "Field Measurement of Sound Insulation between Dwellings". 1960

14. E. SOKOLOV,
"Perception and the Conditioned
Reflex". 1963

15. E. THOMSON,
"Theory of Vibrations" 1975

16. M. WHITECOMB (ed.),
"Physiological Effects of NOISE" 1975

تذييل (١)

ملخص لبعض المشاكل الصوتية واقتراحات بغرض حلها

المشكلة	احتمالات بالاسباب	اقتراح بالحـــــل
١ ــ المكان ملئ بالضوضاء لدرجة ان الشخـــص لايستطيـــع سماعه حديثـه لنفسه	أ مستويات عالية من الصوت الارتدادى	أ زيادة الامتصاص
	ب زيادة فى نفاذية الضوضاء من خارج المبنى الــى داخله	ب زيادة فى عـــزل الضوضاء
	حـ زيادة فى الاهتزازات المنتقلة عبر الهيكل البنائى	حـ عزل الاهتزازات
	د وجود انحناءات غيـــر مناسبة فى جدران واسقف المكان تؤدى الى تركيزه	د ازالة السبب

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحـــل
٢- الصوت مستواه فى مؤخرة الحيــز منخفض للغاية	أ الحيز كبير لدرجة اكثر من اللازم ب الشكل الهندسى للحيــز غير سليم حـ نقص فى المسطحـــات العاكسة للصوت د توزيع غير منتظم (ضعيف) او امتصاص كثير للطاقـــة الصوتية	أ استخدام مكبـــرات الصوت ب تغير فى شكل الحيز حـ اضافة المزيد منها د الغاء الامتصاص مـن على المسطحـــات وجعلها اكثر كفـاءة لعكس الصوت
٣- وجود اماكـــن "صماء" فـــى الغرفة	أ ضعف فى توزيع الطاقـــة الصوتية ب شكل هندسى غير مناســب (غير صحيح خاطىء) حـ وجود صدى للصوت	أ استخدام مسطحـــات عاكسة ب امنع سبب تجميـــع الطاقة المنعكسة حـ غير فى شكل الغرفة

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحـــل
٤ـ الصوت (الضوضاء) مندفعة مباشـرة خلال جـدران الغرفة	أ تسرب خلال شقوق او ثقوب ب نفاذ الصوت حـ اهتزازات د الغرفة المستقبلة لهذه الضوضاء هادئة جدا هـ وضع الغرفة سيء	الغاء السبب اعزل الصوت عزل الاهتزازات اعمل شوشرة اعد توزيع الغرفة توزيعا سليما
٥ـ يمكن بسهولـة سماع ضوضـاء الماكينات وخطى السكان (خطوات الاقدام) فـي الدور العلوى	أ اهتزازات ب نفاذ الصوت حـ وضع الغرفة سيء	عزل الاهتزازات عزل الصوت اعد توزيع الغرف توزيعـا سليما ٠

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحـــــل
٦ـ الضوضاء الخارجية مزعجة للـغاية	ـ وضع الـغرفة سيء ـ تسرب الصوت خلال شقوق او شروخ نفاذ الصوت	اختيار موقع سكني مناسب الـغاء الشقوق عزل الصوت
٧ـ الموسيقى والاحاديث غير واضحة	ـ زيادة فى ارتداد الصوت	زيادة الامتصاص
٨ـ الاصوات الخافتـــة Distracting بدرجة كبيرة	ـ مستوى الخلفية الصوتية بالـغرفة منخفضة للـغاية ـ الـغرفة الامتصاص بهـــا كبير (غرفة صماء)	اعمل شوشرة اضبط (ضبط) زمــــن ارتداد الـغرفة

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحـــــل
٩ـ هناك صدى للصوت مزعج للغاية	ـ انعكاسات متتالية للصوت ـ تجمع للصوت ـ زيادة في ارتداد الصوت	تغير شكل الغرفة الغاء اسباب تجميـــع الصوت ضبط امتصاص الصوت
١٠ـيمكن سماع اى شيء حتى من خـــلال جدران الغرفة	ـ الغرفة صماء ـ الخلفية الصوتية ذات مستوى منخفض جدا ـ تجميع او انعكـــاس للصوت	ضبط زمن الارتداد توليد شوشرة صوتيـــة مناسبة الغاء تجميع او انعكـاس للصوت
١١ـالصوت المسموع داخل الغرفـة غير طبيعى	ـ فلاتر ـ تشويه للصوت نتيجـة عدم ضبط مجموعـــة الاجهزة الصوتيـة	تغير شكل الغرفة مــع ضبط الامتصاص للطاقـــة الصوتية ضبط اجهزة الصوت

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحـــل
	ـ امتصاص نوعى ـ الغرفة صماء ـ زمن ارتداد	ضبط الامتصاص
١٢ ـ يشعر المرء ان المكان "اوبرسيف"	ـ زمن الارتداد منخفض ـ الخلفية الصوتية منخفضة جدا ٠	ضبط كمية الامتصاص استخدام خلفية للشوشرة

تذييل (٢)

مستويات الضوضاء التي تصدر من المركبات على اختلاف انواعها وبعض الآلات

نوعية المركبة	المستوى "ديسيبل"
عربات نقل حمولة ٤ر٥ طن	٨٤ ـ ٨٨
عربات السباق	٧٥
سيارات ركوب خاصة	٦٩
عربات نصف نقل	٧٢
موتوسيكلات	٨٢ ـ ٨٥
اتوبيسات	٧٣ ـ ٨٢
عربة خلاط اسمنت	٨٥
بلدوزر	٨٧

آلات

نوعية الالة	المستوى
ضاغط هواء	٨١
آلة حفر	٨٨
مولد كهربى	٧٦
حفار صخر	٩٨
مضخة تفريغ (مفرغة هواء)	٧٦

تذييل (٣)

متوسط الخفض (على مدى التردد (١٢٥ ـ ٢٠٠٠) هيرتز)
بين حيزين نتيجة وجود نوعية الحاجز الموضحة

نوعية الحاجز	الخفض (ديسيبل)
ارضية خرسانية عالية الكثافة والصلابة ـ كتلة وحدة المساحات ٢٢٠ كجم / متر٢	٥٠
ارضية خشبية سمك ٢ر٢ سم	٤٥
جدار مبنى بالطوب او الحجارة بسمك ٤٥ سم ومغطى بالمونة	٥٥
جدار مبنى بالطوب او الحجارة بسمك ٢٢ سم ومغطى بالمونة	٥٠
جدار خرسانى بسمك ٣٠ سم	٥٠
جدار مركب من حائطين خرسانيين كل حائط منهما سمك ٧ر٥ سم وبينهما تجويف بسمك ٧ر٥ سم	٥٠
جدار مبنى بالطوب سمك ١١ سم او جدار خرسانى سمك ١٥ سم او جدارين بسمك ٥ سم بينهما ٢ر٥ سم هواء	٤٥

نوعية الحاجز	الخفض (ديسيبل)
جدار خرسانى سمك ٧٫٥ سم مغطى بالمونة من الجهتين	٤٠
باب من النوعية التى تسمى " قِفْل صوت " ويتكون من بابيـــن خطيهما الوسطيين مزاحين عن بعضهما ٠ وكل منهما بسمـــك ٥ سم مصنوع من الخشب الصلد واى شروخ بهذا معالجة تماما	٤٥
باب من الخشب الصلد بسمك ٥ سم ومحكم تقفيل جوانبه	٣٠
باب مكون من طبقتين من الابلاكاش كل طبقة سمك ٠٫٣ ســم وبينهما تجويف ٥ سم	٢٠
شباك مركب من لوحين زجاجيين كل منهما بسمك ٠٫٦ ســــم وبينهما تجويف ٢٠ سم	٤٠
شباك زجاجى سمكه ٠٫٦ سم	٣٠
شباك زجاجى سمكه ٠٫٣ سم	٢٥

تم بحمد الله سبحانه وتعالى

عبد الرحمن فكرى

١٣ ربيع أول ١٤١٥

٢٠ اغسطس ١٩٩٤

رقم الايداع بدار الكتب المصرية

١٩٩٤/٩٠٧٣

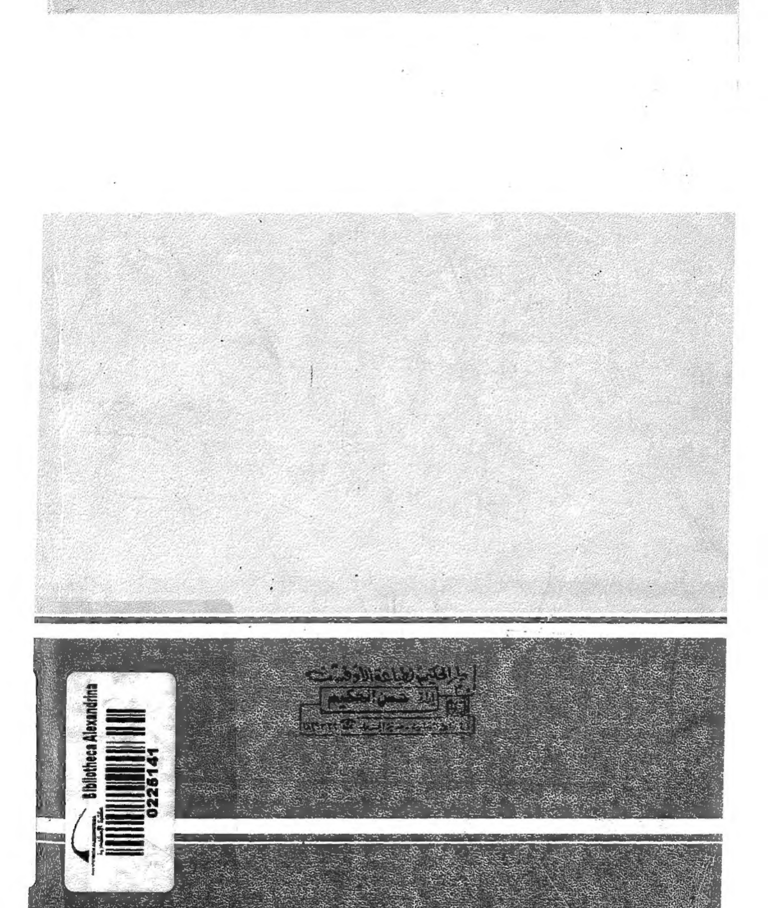
دولــــــى

977- 00- 7636-8

دار الحكيم للطباعة الأوفست

إدارة حسن الحكيم

٤٦ [illegible]


دار الحكيم للطباعة الأوفست
حسن الحكيم
Bibliotheca Alexandrina